

Aspectos económicos de la energía atómica



ASPECTOS ECONOMICOS

DE LA

ENERGIA ATOMICA

Estudio realizado bajo la dirección de
S. H. SCHURR y J. MARSCHAK



FONDO DE CULTURA ECONOMICA

Primera edición en inglés, 1950
Primera edición en español, 1952

ASPECTOS ECONOMICOS DE LA ENERGIA ATOMICA

Estudio realizado bajo la dirección de

SAM H. SCHURR

Y JACOB MARSCHAK

Versión de R. ORTIZ FORNAGUERA

La edición original de esta obra fué publicada por Princeton University Press para la Comisión Cowles de Investigaciones Económicas, bajo el título de *Economic Aspects of Atomic Power*.

Derechos reservados conforme a la ley
Copyright by Fondo de Cultura Económica,
Pánuco, 63 - México 5, D. F.

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico



FONDO DE CULTURA ECONOMICA
México - Buenos Aires

*Investigadores que han colaborado
en este estudio*

SAM H. SCHURR

GEORGE PERAZICH

EDWARD BOORSTEIN

HERBERT A. SIMON

HAROLD H. WEIN

MILTON F. SEARL

PRÓLOGO

El futuro puede encerrar muchas aplicaciones económicas pacíficas de los procesos nucleares. El presente estudio se limita a aquellas aplicaciones que hoy parecen menos remotas. Entre ellas hemos considerado sólo las que se basan en una liberación regulada de energía en una estructura permanente (el "reactor") más bien que las basadas en procesos de explosión. La energía liberada procede de la fusión de átomos pesados como el plutonio. No hay material estructural alguno que pueda resistir las elevadas temperaturas que se producen cuando la energía nuclear se libera sin control, como al estallar una bomba de plutonio. Esto parece excluir la posibilidad de construir reactores para liberar bajo control otro tipo de energía atómica, la que resulta de la fusión (es decir, la reunión) de átomos ligeros tales como los isótopos del hidrógeno. Dicha fusión, en efecto, sólo puede iniciarse a temperaturas muy altas y, en consecuencia, exigirá probablemente la explosión previa de una bomba de fisión. Al limitar nuestro estudio a la liberación controlada de energía, dejamos de lado la utilización pacífica de bombas de hidrógeno o plutonio para, por ejemplo, allanar montes o (conforme se ha sugerido) fundir. Tampoco nos ocupamos en este libro de las consecuencias económicas del enorme poder de destrucción que encierran las armas atómicas ni de las que resulten de medidas defensivas —tales como la descentralización de las ciudades— provocadas por la existencia de dichas armas.

Es posible que aquellas aplicaciones que hoy parecen más inmediatas no sean a la larga las más importantes. Por lo general, se considera practicable la producción de electricidad con el calor creado por la fisión nuclear, aunque hasta ahora no esté resuelto por completo el problema. Lo mismo ocurre con la transmisión de calor o temperaturas relativamente bajas y a cortas distancias, por ejemplo para calefacción doméstica. Por otra parte, la conversión de la energía nuclear en energía eléctrica sin pasar por una turbina de gas o vapor o la utilización directa de las altas temperaturas producidas en un reactor nuclear (por ejemplo para fundir metales) tal vez sean totalmente imposibles. Pero, si esto fuera factible, la importancia económica de estas aplicaciones eclipsaría a la de la simple sustitución por un reactor nuclear del horno de carbón o petróleo de una planta eléctrica que, en los demás, permanecería esencialmente inalterada. Tampoco conocemos qué uso se hará de los elementos y compuestos radioactivos baratos, que son otro producto de la fisión nuclear. Quizá las aplicaciones más importantes, aunque menos inmediatas, consistirán en el nuevo conocimiento de la materia, animada e inanimada, que los hombres de ciencia esperan adquirir mediante el uso de "trazadores" radioactivos. Por ejemplo, si ayudados por este nuevo

una ventaja comparativa de costos en favor de la energía atómica, la demanda de energía atómica o de otra especie cualquiera puede ser pequeña, lo que depende de la densidad de población y de su poder adquisitivo o, en otro caso, de la presencia de determinados mercados o de materias primas que puedan originar una demanda de electricidad si ésta llega a ser suficientemente barata. De acuerdo con esto, el mapa 4 muestra la distribución de la población mundial. Dado el costo, la densidad de población es un factor determinante de la demanda de electricidad, no sólo a causa de la demanda de los particulares para iluminación eléctrica y posiblemente para otros aparatos domésticos, sino también a causa de la demanda de energía para transporte local y otros servicios públicos, para el comercio al por menor y para otras industrias que sirven al mercado local. Una ojeada al mapa 4 revela ya su principal flaqueza como indicador de demanda: se atribuyen pesos iguales a áreas pobladas con densidad semejante en Europa y en Asia. Claro está que lo que realmente importa no es la población por milla cuadrada, sino el poder adquisitivo (existente o potencial) por milla cuadrada. Desgraciadamente, perfeccionar el mapa 4 en correspondencia con esto exigiría una información detallada sobre la distribución geográfica del ingreso real y de los factores potenciales para su aumento en áreas pequeñas (dado que la electricidad no se puede transmitir económicamente más allá de un cierto radio). No se dispone de tales datos ni aún para los actuales niveles de ingreso, excepto en relación con algunas áreas del mundo. En el capítulo XIII se estudia cómo depende la demanda residencial de electricidad tanto del precio como del ingreso real en Estados Unidos.

Otra razón por la cual la densidad de población, o incluso la densidad en "dólares por milla cuadrada", no es un índice adecuado de demanda de electricidad, es el papel que desempeñan las industrias productoras de géneros o servicios para consumidores de fuera del área servida por la planta eléctrica en cuestión. Atraídas por la energía barata, tales industrias pueden a su vez arrastrar más gente y más poder adquisitivo al interior del área. En la segunda parte se estudian algunas de las más importantes industrias consumidoras de energía en Estados Unidos y los resultados pueden ayudarnos a juzgar lo que ocurre en otras áreas. Pero, conforme ya se indicó, la lista de industrias estudiadas es muy incompleta.

En resumen, si los mapas 1 a 3 indican un elevado precio para la electricidad producida con carbón, petróleo, o energía hidráulica y esta área aparece sombreada en el mapa 4, cabe presumir la existencia de una demanda potencial de energía atómica —pero esta presunción debe ser considerada de nuevo a la luz de otras informaciones. Un área oscurecida en el mapa 4 indicará poca demanda de electricidad, sea cual sea su origen, si está habitada por gente muy pobre. Claro es que la energía atómica pudiera contribuir al desarrollo de dicha área incrementando así

los ingresos de sus habitantes; esta cuestión se tratará en el Capítulo XIV. Por otra parte, un área muy clara puede llegar a ser un consumidor de electricidad si posee ciertos minerales en bruto o está situada favorablemente para la construcción de un aeródromo, proyectos de irrigación, etc.

Este estudio confina con la tecnología y la geografía. Ellas proporcionan los datos principales, por incompletos que sean. Pero para pretender llegar a conclusiones definitivas habría que conocer otros datos, de carácter aun menos completo. Estos datos desconocidos son las decisiones políticas del futuro.

En varios lugares del libro se han indicado y sopesado determinados factores políticos. Para empezar, la energía atómica puede obtenerse como subproducto de la fabricación de armas nucleares, aunque no necesariamente. En este caso puede ser un producto subvencionado, ya que los gastos militares, son, en general, sostenidos por el contribuyente. Si un acuerdo internacional mitiga la carrera de armamentos, pueden surgir otras consecuencias económicas conforme se indica en el apéndice B del capítulo I. Por tanto, la comparación directa del costo monetario de la energía procedente de las nuevas y las antiguas fuentes no es el único índice de hasta qué punto el nuevo manantial de energía puede competir, en un país dado, con los antiguos. Además, esto se debe no sólo a decisiones diplomáticas y militares, sino también a otras decisiones político-económicas menos notorias. Conforme muestra el capítulo II, el precio y la disponibilidad relativa de los diferentes tipos de energía pueden depender de las subvenciones otorgadas al carbón y transporte de mercancías (como ocurre en Rusia) y del control de las importaciones y tipos de cambios establecidos tanto por razones de seguridad como por causas de política económica interior.

La comparación básica no se efectúa, naturalmente, entre los costos en dinero, sino entre los "costos reales" en el siguiente sentido: para alcanzar un nivel dado de consumo nacional presente y futuro y un grado dado de seguridad nacional, ¿se precisará mayor cantidad de los recursos de un país para producir un kilovatio-hora adicional de energía con fuentes atómicas o mediante las fuentes convencionales? A decir verdad, los políticos, sean demócratas o dictatoriales, no siempre contestarán, o quizá ni siquiera se plantearán esta cuestión con completa claridad, bien a causa de intereses de grupo o porque carezcan de información o competencia. Con todo, sería desatinado no destacar esta cuestión del costo real cuando se examinan los intereses de nuestra propia economía y seguridad. Como también lo sería suponer que otras naciones ignoran este punto y serán llamadas en consecuencia a malgastar sus recursos estúpidamente. Ahora bien, esta cuestión del "costo real" queda de hecho contestada mediante la comparación del costo en dinero, en tanto los particulares y

aun los mismos organismos públicos compitan por el mercado e intenten evitar pérdidas. Dentro de estos límites, y sólo dentro de ellos, tienen sentido las comparaciones de costos en dinero.

Otras muchas variables políticas deben ser consideradas como incógnitas. En cada caso hay que formular explícitamente una hipótesis o un conjunto de hipótesis y es menester explorar sus consecuencias. Por ejemplo, los efectos de la energía atómica sobre el ingreso nacional (cap. XIII) se estimaron partiendo de la hipótesis de que, en ningún momento, el gobierno de un país industrial toleraría un estado de desocupación por descenso de la demanda efectiva si pudiera contrarrestarlo con medidas fiscales y monetarias apropiadas. Aunque muchos observadores políticos han propuesto esta hipótesis, no se sorprenderían si fallase. La ciencia política de hoy no nos dice qué determina la política cíclica de los gobiernos. Si en vez de exponer nuestra hipótesis hubiésemos dicho que los gobiernos combaten a veces la desocupación y a veces no, hubiéramos renunciado con ello a cualquier base posible para una evaluación razonada de los efectos del nuevo invento sobre el ingreso nacional.

Factores imponderables de la futura historia política afectan también, naturalmente, el examen de los efectos de la energía atómica sobre la industrialización de los países poco desarrollados (cap. XIV), proceso éste que incluye no sólo la construcción física de fábricas, carreteras, puentes, casas, etc., sino también su financiamiento mediante empréstitos exteriores o mediante la reducción del consumo nacional; incluye un cambio en el coeficiente de natalidad, en el nivel sanitario y en los sistemas de educación; y presupone el ejercicio de la fuerza política. Todo esto está fuertemente determinado por quienes rigen la política nacional de un país, así como por sus partidarios y adversarios en la política mundial. El economista sólo puede indicar la importancia de estas variables. Sólo puede preguntar al antropólogo, al sociólogo o al especialista en la ciencia política.

El hecho de que la economía de la energía atómica no dependa únicamente de la tecnología, sino que esté engarzada en condiciones generales sociales y políticas, fué reconocido desde el primer momento por el Consejo de Investigaciones Sociales al designar el Comité para el Estudio de los Aspectos Sociales de la Energía Atómica. En este comité estaban representadas varias ciencias sociales junto con la física. Sus miembros fueron Winfield W. Riefler (Presidente), Bernard Brodie, Rensis Likert, Jacob Marschak, Frank W. Notestein, William F. Ogburn, Isidor I. Rabi, y Henry de W. Smyth. El comité aprobó el esquema preliminar del presente libro.

La Fundación Rockefeller tomó a su cargo el financiamiento del estudio concediendo una donación a la Comisión Cowles de Investigacio-

nes Económicas de la Universidad de Chicago. Una donación adicional de la Asociación Americana de Seguros de Vida ayudó a completar el estudio. Nos es grato dar las gracias, en representación del grupo que realizó el estudio, a las organizaciones que han patrocinado el trabajo y proporcionado los medios y fondos necesarios.

Aunque los dos codirectores del estudio comparten por igual la responsabilidad por sus defectos, sobre Sam H. Schurr recayó la tarea adicional y la carga mayor en cuanto autor o coautor de casi la totalidad de las partes I y II. Escribió los capítulos I, III y IV y compartió con Edward Boorstein la redacción del capítulo II, con George Perazich la de los capítulos V, IX y XI y con Milton F. Searl —de la Stanolind Oil and Gas Company, Tulsa, Oklahoma— la del capítulo XII. Harold H. Wein, del Departamento de Justicia de E. U., es el autor del capítulo X. Los capítulos finales XIII y XIV, que constituyen la tercera parte, son aportación de Herbert A. Simon, del Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh. Edward Boorstein y George Perazich, como miembros permanentes del grupo de investigadores, contribuyeron notablemente a definir el tema y a formular el enfoque general.

Robert L. Carmin, del Departamento de Zoología y Geografía, Michigan State College, nos asesoró en el aspecto cartográfico y a él se deben los mapas 1 y 3. El mapa 2 fué trazado por Robert E. Stanley. Ruth Frankel Boorstein preparó en su forma final el libro para su publicación y, junto con Jane Novick, secretaria de redacción de la Comisión Cowles, lo revisó durante su impresión. Ambas contaron con la ayuda de Jean Curtis. William B. Simpson, Subdirector de investigaciones de la Comisión Cowles, celebró los arreglos finales con el editor. John R. Menke, colaborador de Nuclear Development Associates, de Nueva York, fué agregado al grupo de estudio en sus comienzos y continuó más tarde prestando su ayuda como asesor técnico. Esta misma función realizó, en un estadio ulterior, Richard L. Meier, de la Universidad de Chicago.

Cada capítulo fué repetidamente revisado por los autores y los codirectores a fin de coordinar los resultados en un todo único y tomar en cuenta las sugerencias y comentarios. Algunos de los resultados preliminares del estudio fueron publicados a medida que éste avanzaba, para incitar la crítica y el comentario públicos.* Todas las partes del mismo

* Por ejemplo: 1) Cowles Commission Special Paper nº 1: John R. Menke, "Nuclear Fission as a Source of Power" (reimpreso de *Econometrica*, vol. 15, octubre 1947, págs. 314-334); 2) Cowles Commission Special Paper nº 2: "The Economic Aspects of Atomic Power", reimpresión de los artículos de Jacob Marschak (en el *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 2, septiembre 1946), y de Sam H. Schurr, con comentarios de Philip Sporn y Jacob Marschak (en *American Economic Review, Proceedings*, vol. 37, mayo 1947, págs. 98-117), 3) Sam H. Schurr "Atomic Power in Selected Industries", (*Harvard Business Review*, vol. 27, julio 1949, págs. 459-479).

en las diferentes etapas de su redacción se hicieron circular entre especialistas de las distintas disciplinas. De hecho, nos hemos valido una y otra vez de su asesoramiento, tanto en lo que concierne a la conformación del estudio (por ejemplo, en la selección de aquellas industrias consumidoras de energía que debían analizarse) como en el uso de sus detallados comentarios críticos referentes a varios capítulos. Es natural que en un campo tan nuevo como éste se encuentren opiniones contradictorias. Hemos intentado ponderarlas con el mayor cuidado e incorporar en este volumen las sugerencias de dichos especialistas. Pero no les cabe responsabilidad alguna en lo que atañe al texto final con el que, a decir verdad, no siempre hubieran estado de acuerdo. Nos consideramos particularmente en deuda con A. B. Kinzel, de los Union Carbide and Carbon Research Laboratories, por habernos guiado en un sentido general desde un buen principio. Varios aspectos del presente trabajo fueron también discutidos, para nuestro provecho, con H. J. Barnett del Program Staff, del Departamento del Interior de E. U., y con Leo Szilard, profesor de Biofísica de la Universidad de Chicago. Ansley J. Coale, del Instituto de Estudios Superiores, Universidad de Princeton, Mordecai Ezekiel, de la Organización de Agricultura y Alimentos de las Naciones Unidas, y Ward F. Davidson, de la Consolidated Edison Company de Nueva York, han leído el libro y hecho amplias sugerencias acerca de muchas partes del mismo.

Quedamos reconocidos a muchos otros que se tomaron el trabajo de leer los borradores de ciertos capítulos y de ofrecer sugerencias para su revisión, como también a aquéllos que nos asesoraron en varias fases del estudio.

En el prólogo y en el capítulo I ("Características Económicas de la Energía Atómica") se contó con la crítica o el consejo técnico de las siguientes personas: Sir Wallace Akers, Imperial Chemical Industries Ltd., Londres, Inglaterra; Bruce K. Brown y G. W. Watts, Standard Oil Company of Indiana; Harrison Brown, Instituto de Estudios Nucleares, Universidad de Chicago; W. P. Dryer, Stone and Webster Engineering Corporation; Clark Goodman, Departamento de Física, Instituto tecnológico de Massachusetts; Joseph E. Loftus, Teaching Institute of Economics, The American University; C. Rogers McCullough y Charles A. Thomas, Monsanto Chemical Company, St. Louis; E. W. Morehouse, General Public Utilities Corporation, Nueva York; Walton Seymour, Program Staff, Departamento del Interior de E. U.; John A. Simpson, Instituto de Estudios Nucleares, Universidad de Chicago; F. H. Spedding, Instituto de Investigaciones Atómicas, Iowa State College, y sus colegas D. S. Martin, A. F. Voigt, y H. A. Wilhelm; Philip Sporn, American Gas and Electric Service Company, Nueva York; G. O. Wesse-

ner, Administrador de Energía, Tennessee Valley Authority; y Eugene P. Wigner, Profesor de Física, Universidad de Princeton.

A. D. Kirkpatrick y sus colegas en la directiva de la McGraw-Hill Publishing Company han aportado útiles comentarios técnicos tanto al capítulo I como al análisis de las distintas industrias tratadas en la segunda parte: P. W. Swain, redactor de *Power*, A. E. Knowlton del *Electrical World*, Norman Beers y Keith Henney de *Nucleonics*, T. R. Olive, Roger Williams, Jr., y R. F. Warren de *Chemical Engineering*, George Havas, de la Kaiser Engineers, Inc., Oakland, California, hicieron útiles sugerencias concernientes al aluminio, cemento, y hierro y acero. L. A. Matheson, Laboratorio de Investigaciones Físicas, Dow Chemical Company, coadyuvó con sus comentarios acerca del aluminio, hierro y acero y cloro y sosa cáustica. El Prof. Cyril Smith, del Instituto para el Estudio de los Metales de la Universidad de Chicago, hizo indicaciones relativas a los capítulos en que se trata el aluminio y el hierro y acero. J. H. Walchall, de la División de Ingeniería Química, Tennessee Valley Authority, hizo algunas sugerencias acerca de las industrias del aluminio y electroquímica. En la lista que sigue mencionaremos con gratitud a otros que generosamente pusieron a nuestra disposición sus conocimientos especiales a la vez que indicamos las industrias particulares acerca de las cuales nos ofrecieron sus observaciones.

Aluminio: Francis C. Frary, Aluminum Research Laboratories, Aluminum Company of America; Ivan Block y Samuel Moment, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon; e Irving Lipkowitz, Economic Research Department, Reynolds Metal Company. **Cloro, sosa cáustica, y amoníaco:** Roscoe E. Bell, Coordinador del Western Phosphate Fertilizer Program, Departamento del Interior de E. U.; Zola G. Deutsch, Deutsch and Loonam, Nueva York; K. D. Jacob, Bureau of Plant Industry, Soils and Agriculture Engineering, Departamento de Agricultura de EE. UU.; Glenn E. McLaughlin, Oficina de Recursos de Seguridad Nacional, Washington, D. C.; y Chaplin Tyler, E. I. DuPont de Nemours and Company. **Vidrio plano, cemento y ladrillos:** R. W. Allison y J. J. Neve de *Ceramic Age*, C. H. Hahner, Sección del Vidrio, Oficina Nacional de Patrones; F. G. Schwalbe, Toledo Engineering Company. **Hierro y acero:** E. P. Barrett, Long Beach, California, (antes de la Oficina de Minas de E. U.); Isaac Harter, The Babcock and Wilcox Corporation; J. R. Miller y C. F. Ramseyer, ambos de la H. A. Brassert and Company; y Earle Smith, Jefe metalúrgico, Republic Steel Corporation. **Transporte ferroviario:** Julián Duncan, Comisión Interestatal de Comercio; Thor Hultgren, Oficina Nacional de Investigación Económica; W. B. Lacher, Engineering Division, Association of American Railroads; T. M. C. Martin, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon; y John I. Yellot, Director de Investigaciones, Locomotive Development

Committee, Baltimore. Debemos agradecer al Prof. E. Wigner, de la Universidad de Princeton, sus comentarios sobre el Apéndice que trata del uso de centrales de energía atómica en las locomotoras. El capítulo referente a *Calefacción doméstica* fué leído y analizado por J. C. Butler, Illinois Maintenance Company, Chicago; J. E. Koch, Power Plant Supervisor, Chicago Union Station Company; y William H. Ludlow, Committee on Instruction and Research in Planning, Universidad de Chicago.

Facilitaron nuestros análisis industriales los comentarios más generales de Alexander Gourvitch, División de Desarrollo y Estabilidad Económicos, Naciones Unidas; Carl Kaysen, Departamento de Economía, Universidad de Harvard; Walter Rautenstrauch, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Columbia, R. M. Weidenhammer, Departamento de Comercio de E. U.; y James Zilboorg, General Electric Company, Ciudad de México.

En el análisis de los costos y recursos de energía en diferentes regiones del globo (cap. II) y de los efectos de la energía atómica sobre las economías nacional o regional y sobre la industrialización de las áreas poco desarrolladas (los dos últimos capítulos) hemos contado con la ayuda de: Colin Clark, Director del Departamento de Industria del Gobierno de Queensland, Australia; N. B. Guyol, División de Desarrollo y Estabilidad Económicos, Naciones Unidas; Chauncy D. Harris, Profesor de Geografía de la Universidad de Chicago; Norman Kaplan, Instituto Tecnológico de Illinois; Simon Kuznets, Oficina Nacional de Investigación Económica; Conrad G. D. Maarschalk, Nueva York; Prof. Kenneth May, Carleton College; Prof. Frank W. Notestein, Oficina de Investigación Demográfica, Universidad de Princeton; Prof. Harvey S. Perloff, Universidad de Buffalo. También fueron útiles los valiosos comentarios de S. C. Gilfillan, autor de *Sociology of Invention*.

Todos los materiales que fueron objeto de consulta en el curso de la preparación de este volumen eran "no clasificados" desde el punto de vista de la seguridad nacional; los expertos nos proporcionaron sus comentarios con pleno conocimiento de que el manuscrito estaba destinado a la publicación.

JACOB MARSCHAK

Chicago,
marzo, 1950

PRIMERA PARTE

Comparación económica entre la energía nuclear y otras formas de energía

1. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DE LA ENERGÍA ATÓMICA

Cabe disponer en la actualidad de cierta información relativa a la energía atómica, ~~extremadamente~~ útil para definir los límites dentro de los cuales puede ~~desarrollarse~~ el análisis económico. Los hechos conocidos consisten, en parte, en la información científica básica revelada en documentos oficiales tales como el informe preparado para el Departamento de Guerra por H. D. Smyth,¹ y en varios documentos presentados a la Comisión de Energía Atómica de las Naciones Unidas por el gobierno de Estados Unidos.² Existen, además, "opiniones oficiales" sobre muchos puntos críticos contenidos principalmente en los informes de la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos y "opiniones no oficiales" de ~~varios~~ científicos que han intervenido en el desarrollo de la energía atómica en Estados Unidos y otros países. Tales declaraciones han sido de gran importancia en la preparación de este capítulo.

Muchas de las cuestiones más importantes que no han podido resolverse en el análisis económico de la energía atómica han quedado sin respuesta, no porque la información se mantenga secreta, sino simplemente porque no hay todavía quien disponga de ella, ni siquiera la Comisión norteamericana de Energía Atómica.

No se ha producido aún energía atómica útil, con excepción, quizá, de la obtenida como subproducto de la operación de reactores en los laboratorios, ni se ha proyectado ninguna central de energía atómica en escala comercial. Los científicos que intentan diseñarla se enfrentan a numerosos y difíciles problemas de ingeniería, tales como el descubrimiento de nuevos materiales capaces de soportar las extraordinarias condiciones de trabajo que se presentan en los reactores nucleares. Por esta razón, no podemos conocer el factor económico más importante: el costo de producción de la energía atómica. Sin embargo, las características físicas de los procesos mediante los cuales puede producirse energía atómica se conocen con aproximación suficiente para poder por lo menos indicar los límites dentro de los cuales caerá el costo, comparado con el de la energía térmica corriente.

Don hechos conocidos han sido particularmente útiles como punto de partida de nuestro análisis. El primero es que mientras una libra de carbón se puede transformar más o menos en 1 kwh de energía eléctrica,

¹ *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton University Press, 1946.

² Los artículos más importantes se encuentran en *The International Control of Atomic Energy, Scientific Information Transmitted to the United Nations Atomic Energy Commission*, Publicación 2661 del Departamento de Estado, Washington, Government Printing Office, 1946.

una libra de combustible atómico, consumida por completo, rinde unos 2.5 millones de kwh de energía eléctrica, esto es, una libra de combustible nuclear es el equivalente aproximado de 1,250 toneladas de carbón bituminoso.³ La importancia económica de este hecho es evidente: en condiciones normales, el costo, por unidad de energía, de transportar el nuevo combustible es despreciable. Podemos decir, en efecto, que la energía atómica se producirá a partir de un combustible sin peso y esto a su vez indica que su uso podría reducir al mínimo las amplias diferencias en el costo de la energía que se advierten en diferentes áreas del mundo.

El segundo hecho importante es que el uranio metálico relativamente puro, —el mineral clave en el proceso de fisión— costaba en 1943⁴ unos 20 dólares por libra. Conforme veremos más adelante, existe una posibilidad razonable de que una libra de uranio pueda transformarse en una libra de combustible nuclear, lo que significaría que la energía equivalente a 1,250 toneladas de carbón podría costar unos 20 Dls.⁵ Esto sugiere que podría disponerse del nuevo combustible en todo el mundo a un precio excepcionalmente bajo. Pero no significa necesariamente que la conversión en energía útil sea barata; ello dependerá sobre todo del costo de la planta y equipo necesarios.

Estas dos hipótesis —que en cualquier punto del globo podrá disponerse del nuevo combustible más o menos a igual costo y que éste podrá ser muy bajo— indican, por lo menos, que la importancia del problema justifica un estudio ulterior para fijar con mayor exactitud el costo y otras características económicas. ¿Cuánto costará proporcionar la energía utilizable? La forma en que se produzca la energía y las características de la planta y equipo necesarios, ¿no limitarán su uso? ¿Se podrá disponer de los materiales en bruto en cantidades suficientes para constituir una adición importante a la oferta mundial de recursos energéticos? ¿Cuál es la magnitud de los problemas de perfeccionamiento que habrán de resolverse antes que la energía atómica pueda utilizarse comercialmente? En el presente capítulo analizaremos estas y otras cuestiones.

Comenzamos éste capítulo con una sección en la que se señalan ciertas características de la energía atómica que, en gran parte, pueden deducirse de la naturaleza física del proceso de producción. En la sección

³ Esta comparación supone la transformación del calor en energía eléctrica con un rendimiento térmico global de un 25 % tanto para el carbón como para el combustible nuclear. En el análisis del costo de la electricidad térmica ordinaria que efectuaremos en el capítulo II supondremos un rendimiento algo más elevado.

⁴ Smyth, *op. cit.*, p. 93. § 6-14.

⁵ Desde entonces puede haber aumentado algo el costo de producción del uranio metálico. El precio normal en Nueva York del uranio metálico, según anunció en diciembre de 1949 la Comisión de Energía Atómica, es de Dls. 50 por libra. Hay que advertir también que este metal, aunque altamente refinado de acuerdo con los criterios ordinarios, no poseería el grado extremo de pureza requerido para su uso en reactores nucleares (*New York Times*, 1º diciembre 1949, p. 17, col. 2).

segunda analizamos las reservas minerales de las fuentes de combustible nuclear y se intenta apreciar si serán o no suficientes para mantener una gran industria de energía atómica. Por último, en la tercera sección se hace el examen de las estimaciones disponibles sobre el costo de producción de la energía atómica y se determinan aquellos valores del costo que no utilizarán en los capítulos siguientes. Como el análisis no toma en cuenta los factores políticos que pueden afectar decisivamente la economía de la producción y el empleo de la energía atómica, se presenta el Apéndice B, que muestra cómo el control internacional de la energía atómica puede producir efectos económicos.

A) CARACTERES FÍSICOS Y ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA ÚTIL

La energía atómica en forma útil se produce en un tipo de horno completamente nuevo, llamado al principio "pila atómica", el cual ha acabado por ser conocido con el nombre de "reactor nuclear". En gran número de publicaciones se han descrito las características físicas básicas de los reactores nucleares y de las instalaciones complementarias.⁶ Sólo analizaremos aquí aquellas características que más influyen en la economía de la producción y utilización de la energía atómica.

1. Usos de la energía atómica

La fisión nuclear, fuente de la energía atómica, es a la vez la fuente de una intensa radioactividad. El único método conocido para proteger al personal de los efectos letales de la radioactividad y de los neutrones liberados en la fisión, consiste en recubrir el reactor con un grueso blindaje, el cual, en la práctica, está constituido principalmente por concreto. Los informes que se poseen indican que el blindaje necesario es en la actualidad de varios pies de espesor. Se estima que para reactores relativamente pequeños se necesita un peso mínimo de 100 toneladas.⁷ Estas

⁶ Los artículos de Leon Svirsky, "The Atomic Energy Commission", *Scientific American*, vol. 181, julio 1949; y "Atomic Energy 1949", *Business Week*, n° 1026, 10 abril 1949, contienen descripciones útiles para el lector común. Referencias complementarias de carácter más técnico se encuentran bajo el título de "Electric Power" en *An International Bibliography on Atomic Energy*, vol. 1, Atomic Energy Commission Group, United Nations, Lake Success, 1949.

⁷ Sir Wallace Akers, "Metallurgical Problems Involved in the Generation of Useful Power from Atomic Energy", 37ª Conferencia de mayo en el Instituto de los Metales, *Journal of the Institute of Metals*, vol. 73, julio 1947, p. 673; M. C. Leverett, "Some Engineering and Economic Aspects of Nuclear Energy", Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, MDDC-1304, 3 diciembre 1948, p. 7; y J. A. Wheeler, "The Future of Nuclear Power", *Mechanical Engineering*, vol. 68, mayo 1946, p. 403.

dimensiones no tienen por qué ser iguales en el futuro, ya que tal vez se descubran nuevos tipos de aleaciones y materiales cerámicos que permitan adelgazar el blindaje.⁸ Pero aún en el mejor de los casos seguirá siendo extremadamente pesado.

El peso y dimensiones de este blindaje protector, incluso admitiendo posibles mejoras, limitará el uso de la energía atómica. Las necesidades de protección impedirán el uso de los reactores nucleares en unidades móviles pequeñas, como automóviles y camiones.⁹ Por otra parte, se ha considerado totalmente practicable el empleo de reactores nucleares en unidades móviles grandes, tales como barcos transoceánicos. De hecho, es opinión corriente que una de las primeras aplicaciones de los reactores nucleares será en la propulsión de buques.¹⁰ Se considera que esta aplicación sería de gran utilidad aunque sólo fuera por la ventaja militar que representaría ampliar la distancia que los barcos podrían recorrer sin necesidad de renovar su provisión de combustible. El empleo de reactores nucleares en aviones y locomotoras es más problemático.

La Comisión Norteamericana de Energía Atómica ha impulsado activamente la investigación de reactores nucleares para la propulsión de aviones, y ya parece vislumbrarse cierta posibilidad de éxito, probablemente en aparatos sin piloto. También en este caso es de extraordinaria importancia la ventaja militar de ampliar la distancia que un avión puede recorrer sin necesidad de abastecerse nuevamente de combustible. Que se sepa, todavía no se ha emprendido la investigación de la aplicación de los reactores nucleares a la propulsión de locomotoras.

El empleo más factible desde el punto de vista técnico (y probablemente el uso económico más prometedor) de los reactores nucleares es en instalaciones fijas para la producción de energía. Es obvio que para tales centrales, que producirán energía para distribución general, o que serán construídas por grandes empresas industriales para satisfacer sus propias necesidades de energía, el blindaje no sería un gran impedimento. Aunque este informe está dedicado casi por entero a las centrales fijas, algunos de los puntos generales examinados son también aplicables a unidades móviles. Consideraremos los reactores móviles tan sólo en relación con nuestro análisis de la posible utilización de la energía atómica en los ferrocarriles, y ello a causa de su importancia económica (cap. XI). Dado que, dentro de un programa limitado de investigación, como el nuestro,

⁸ F. H. Spedding, "Chemical Aspects of the Atomic Energy Problem", *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 5, febrero 1949, p. 48.

⁹ Sumner Pike, "Atomic Energy in Relation to Geology", discurso ante la asamblea anual de la Asociación Norteamericana de Geólogos Petroleros y otras organizaciones, St. Louis, Missouri, 16 marzo 1949, CEA bol. de prensa.

¹⁰ Véase, por ejemplo, la declaración del Sr. Lilienthal ante el Subcomité del Comité de Egresos, sobre la ley de egresos de organismos independientes para 1950, cámara de representantes, 81º Congreso, 1ª sesión, parte 1ª, pp. 1088-1089.

sólo cabe incluir una industria de transporte, se omitirá la navegación oceánica y el transporte aéreo.

Seguendo la práctica que se advierte en la mayoría de los trabajos sobre economía e ingeniería de la energía atómica, nuestro análisis se referirá principalmente a la producción de energía eléctrica mediante la energía generada en el reactor nuclear. Centraremos nuestra atención en la electricidad y no en el calor (forma en que la energía aparece en el reactor nuclear), porque aquélla es la forma que ha resultado más aplicable a la operación de centrales eléctricas para distribuir energía en amplias áreas. Si las instalaciones fijas de energía nuclear han de penetrar realmente en la sociedad económica moderna, ello tendrá que ser, o a través de la producción de electricidad, o por algún método nuevo. Sin embargo, al referirnos principalmente a la energía eléctrica no excluimos las posibles aplicaciones directas del calor, puesto que la producción de electricidad atómica entraña la producción previa de aquél. De ahí que al examinar los caracteres económicos y físicos de la energía eléctrica generada con energía atómica examinamos de hecho esas mismas características (con algunas modificaciones obvias) respecto al calor nuclear. En consecuencia, podremos aplicar la información sobre energía atómica que se presenta en este capítulo (principalmente sobre electricidad) a un análisis sobre la posibilidad económica de usar calor nuclear directamente, como, por ejemplo, en la calefacción de áreas residenciales (cap. XII).

En todos aquellos casos en que no se requiera calor nuclear a temperaturas superiores a las requeridas para convertir el calor en electricidad (como ocurre, por ejemplo, en la calefacción por distritos) podremos emplear los datos procedentes del análisis relativo a la electricidad que hacemos en este capítulo; pero cuando se requiere calor a temperaturas considerablemente más elevadas, como en la fundición de metales o en la fabricación de cemento, el empleo de tales datos podría resultar injustificado. El problema puede plantearse en los términos siguientes: cuanto mayor es la temperatura requerida, tanto menor es la posibilidad de utilizar esa información, y esto a causa de los difíciles problemas de ingeniería que plantea el uso de reactores nucleares a elevadas temperaturas. Aún así, los valores estimados referentes a la energía eléctrica generada con energía atómica son por ahora la mejor guía respecto a las características económicas probables de los reactores nucleares productores de calor a altas temperaturas, pero hay que comprender con toda claridad esta diferencia fundamental: que las apreciaciones económicas y técnicas aplicables a la electricidad atómica pueden resultar excesivamente optimistas en cuanto a la producción de calor a temperaturas en extremo elevadas.

2. Combustible nuclear¹¹

Tres combustibles se podrán emplear en los reactores nucleares: uranio 235, uranio 233 y plutonio. El único que se encuentra en estado natural es el uranio 235, que es un isótopo del uranio natural que constituye 0.72 % del total (1 parte en 140). Los otros combustibles se crean artificialmente: el plutonio a partir del uranio 238 —isótopo que constituye casi por completo el uranio natural—, y el uranio 233 a partir del torio. El uranio 235 puede considerarse como el combustible primario, en el sentido de que es el único que existe en la naturaleza y cuya existencia es necesaria (aunque sólo sea en forma de uranio natural) antes de que pueda iniciarse la producción de los otros dos combustibles.

La transmutación en gran escala del uranio 238 en plutonio y del torio en uranio 233 sólo puede efectuarse en un reactor nuclear. El plutonio producido durante la guerra se obtuvo en los reactores de Hanford en Richland, Washington. Estos reactores produjeron también una gran cantidad de energía (posiblemente en proporción tan elevada como entre 500.000 y 1.500.000 kilovatios en forma de calor¹²), energía que no se aprovechó, principalmente porque se obtenía a temperatura demasiado baja para realizar trabajo útil. Reactores del mismo tipo general que los de Hanford, pero que produzcan simultáneamente energía útil y combustible nuclear, tendrían gran importancia para la industria de energía atómica comercial. En esencia, por lo tanto, aunque estos reactores consumen plutonio —u otra de las otras dos substancias fisionables—, estarán produciendo a la vez nuevas cantidades de plutonio o de uranio 233.

a) LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL REACTOR NUCLEAR. El profesor J. A. Wheeler ha descrito de manera muy clara la posible relación entre el consumo y la producción de substancia fisionable en el reactor nuclear del futuro¹³. "En futuros intentos de llevar a cabo este proceso de regeneración, se darán uno u otro de dos posibles

¹¹ Aunque en esta sección se hará alguna referencia ocasional al U-235 purificado, el cual sólo puede obtenerse por separación de este isótopo, no analizamos el proceso de separación en sí porque creemos que en el futuro se considerará que la producción de U-235 es un camino menos económico que la producción de plutonio o uranio 233 para producir energía útil.

Sin duda, algunas de las instalaciones existentes para la separación del isótopo U-235 continuarán funcionando y pueden incluso perfeccionarse y ampliarse (Akers, *op. cit.*, pp. 670, 674, 675; John W. Irvine, Jr., "Heavy Elements and Nuclear Fuels", capítulo XI, en *The Science and Engineering of Nuclear Power*, vol. I, dirigido por Clark Goodman, Cambridge, Mass., Addison-Wesley Press, 1947, p. 373; véase también Clark Goodman, "Future Developments in Nuclear Energy", *Nucleonics*, vol. 4, febrero 1949, p. 3).

¹² Smyth, *op. cit.*, p. 104, § 6-41.

¹³ Wheeler, *op. cit.*, p. 402.

resultados. Puede ser que por cada día de funcionamiento la pila del futuro queme, por ejemplo, un kilogramo del material fisionable original y regenere a partir del U-238 o de algún otro material inerte similar, posiblemente tan sólo 0.9 kilogramos de nuevo material fisionable, por ejemplo, plutonio. En este caso, la instalación puede seguir en funcionamiento únicamente si cada día introducimos desde el exterior 0.1 kg. de nuevo material fisionable... El otro resultado posible es más favorable en lo que atañe a la economía de las materias primas. En cada día de funcionamiento durante el cual destruimos un kilogramo de material fisionable, sintetizamos a partir de una substancia inerte más de un kilogramo de nuevo material fisionable, pongamos por caso 1.1 kilogramos. En este supuesto, podemos dejar un kilogramo del nuevo producto en la central para compensar las pérdidas del día y retirar el resto, 0.1 kilogramos, para contribuir a la construcción de una nueva pila... En caso de poder alcanzar este resultado no tendremos necesidad de proveer nuestra central de nuevo material fisionable desde el exterior, con excepción del que exige su puesta en marcha... Evidentemente, basta proyectar una central dotada de características de regeneración suficientemente buenas a fin de utilizar en la producción de energía todo el uranio, no sólo el escaso isótopo U-235."

En un artículo informativo, Sir Wallace Akers refuerza esta descripción indicando que el torio puede resultar de particular importancia en la creación de substancia fisionable. Señala que "parece existir una posibilidad, ciertamente muy buena, de que el número de neutrones emitidos en la fisión del U-233 (que resulta de la transmutación del torio), junto con la sección de captura de los neutrones por el torio, puedan permitir la construcción de una pila que contenga U-233 y torio, pila en la cual el número de núcleos de U-233 que se formen supere al de los que se 'queman', de suerte que la provisión de U-233 se verá incrementada continuamente."¹⁴ Es concebible, pues, si bien no pueda darse en modo alguno por seguro, que la producción de material fisionable pueda llevarse a cabo a base de torio. Parece probable que ello constituirá por lo menos un importante suplemento del uranio como materia prima para la producción de nuevos materiales fisionables en los reactores nucleares.

A pesar de las posibilidades indicadas en estas citas, hay que tener en cuenta que, según la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, "las dificultades de ingeniería asociadas con la producción son enormes".¹⁵ La Comisión señala que uno de los mayores problemas estriba en que las condiciones esenciales para una creación eficiente de nuevas

¹⁴ Akers, *op. cit.*, p. 677.

¹⁵ Comisión Norteamericana de Energía Atómica, *Fourth Semi-annual Report*, Washington, Gov. Printing Of., 1948, p. 45.

substancias fisionables pueden no coincidir con las requeridas para que funcionen económicamente los reactores de energía nuclear. Además, para una producción eficiente será preciso someter el uranio o el torio, en la pila, a frecuentes y muy costosos procesos químicos con el fin de separar los residuos (productos de la fisión), que se acumulan en el reactor durante su funcionamiento, del uranio o torio no alterados y éstos a su vez del plutonio o del uranio 233.¹⁶

Un reactor experimental para crear materiales fisionables ha sido ya proyectado por el Laboratorio Nacional de Argonne y la Comisión de Energía Atómica ha celebrado contratos para su construcción. Aunque no es seguro que este reactor cumpla su finalidad, los científicos autores del proyecto confían en su éxito.¹⁷ Sin embargo, este reactor no ha sido diseñado para producir energía útil; cualquiera que sea la energía que efectivamente produzca será tan sólo un subproducto accidental.

Dada la posible dificultad para lograr a un mismo tiempo la creación eficiente de substancias fisionables y la explotación económica de la energía es de pensar que acaso deban emplearse por lo menos dos tipos de reactores en la industria de la energía atómica: un tipo que se especializaría en la producción de materiales fisionables, pero que también produciría alguna energía, y otro tipo que, si bien dedicado a la producción de energía, pudiera también producir algo de nueva substancia fisionable. Es de suponer que en la primera clase de reactores el costo del combustible será más bajo que en la segunda, pero el costo de operación para producir energía será más alto y viceversa. Aun cuando esto ocurra, ello no tiene por qué modificar nuestro análisis de los costos si concebimos la industria de energía atómica como compuesta de diversos grupos de reactores, cada uno de los cuales incluye una combinación de ambos tipos de reactor, pues la economía particular de explotación en cualquier sección del grupo se reflejaría igualmente en un más bajo costo para cada reactor. No es improbable que si fuera necesario tener los dos tipos de reactores, la industria de energía atómica comercial adoptara un método de contabilidad simplificado sobre estas líneas generales.

Sin embargo, no ha de descartarse la posibilidad de que en un mismo reactor se obtenga eficientemente materia fisionable y se produzca energía.¹⁸ En el Knolls Atomic Power Laboratory de Schenectady, se está proyectando un reactor que produciría importantes cantidades de ener-

¹⁶ *Ibid.*, p. 45.

¹⁷ Comisión Norteamericana de Energía Atómica, "AEC Selects Contractor to Build First Nuclear Reactor at Testing Station in Idaho", CEA, Boletín de Prensa, 28 noviembre 1949; ver también extractos de conferencias de prensa en *New York Times*, 29 noviembre 1949, p. 9, col. 3.

¹⁸ CEA, boletín de prensa, 28 noviembre 1949, *op. cit.*

gía eléctrica "sin disminuir —y quizá incluso aumentando— la producción nacional de material fisionable."¹⁹

Basaremos nuestro análisis en la hipótesis de que los reactores nucleares producirán nuevo material fisionable por lo menos en cantidad suficiente para reponer el combustible que consumen en su producción de energía. Esta hipótesis entraña una importante característica de funcionamiento: el suministro permanente de combustible para el funcionamiento de las fábricas de energía nuclear se efectuará en forma de uranio natural o torio. Dado que, conforme veremos, estos materiales resultan muy baratos por unidad de energía, esto significa que el costo diario de suministro de combustible en el reactor nuclear promedio será probablemente extraordinariamente bajo. Si se necesitan dos tipos de reactores para conseguir a la vez una creación eficiente de materia y una producción económica de energía, esta hipótesis será aplicable a ciertos reactores sólo si —como hemos sugerido más arriba—, se consideran ambos como parte de un "grupo reactor".

b) INVERSIÓN INICIAL DE COMBUSTIBLE EN EL REACTOR NUCLEAR. La cantidad y clase de material fisionable necesarias para poner en marcha un reactor debe distinguirse del combustible requerido para su mantenimiento. Aunque el abastecimiento permanente de combustible del reactor (considerando quizá agrupadas las operaciones del mismo) puede muy bien consistir en uranio natural o torio, la inversión inicial de combustible deberá incluir cierta cantidad de material fisionable relativamente puro en la forma de uranio 235, plutonio o uranio 233. Puesto que estos materiales (que se usan también como carga explosiva para la bomba atómica) son relativamente caros y tan sólo puede disponerse de ellos en cantidades limitadas, por lo menos en la actualidad, seguramente se harán grandes esfuerzos para economizarlos. Por ejemplo, Lyle Borst, Presidente del Reactor Science and Engineering Department del Laboratorio Nacional de Brookhaven, ha afirmado que "la eficiencia de una central productora de energía se juzgará en gran medida por la proporción de energía engendrada con una cantidad dada de combustible nuclear."²⁰

Según las indicaciones con que hoy se cuenta, la inversión inicial de combustible en los reactores se compondrá generalmente de uranio natural (1 parte fisionable en 140) y de substancia fisionable pura, digamos plutonio, cuyo efecto será enriquecer el contenido fisionable del uranio natural. Dado que éste, aun sin enriquecer, puede de por sí mantener una reacción nuclear en cadena, como se ha hecho en los reactores de

¹⁹ Svirsky, *op. cit.*, p. 39.

²⁰ Lyle B. Borst, "Industrial Application of Nuclear Energy", *The Commercial and Financial Chronicle*, vol. 167, 4 marzo 1948, p. 32.

Hanford, surge la cuestión de por qué es necesario el enriquecimiento. La razón parece encontrarse en que la flexibilidad de diseño, flexibilidad que es de enorme importancia en el desarrollo de reactores productores de energía prácticamente útil, sólo podrá obtenerse si se incluyen estos combustibles raros en la alimentación del reactor.²¹ Al aumentar la proporción de sustancias fisionables en los elementos combustibles del reactor, aumenta la probabilidad de que los neutrones necesarios para propagar la reacción en cadena sean capturados por materiales fisionables en vez de por materiales inertes. El resultado es una mayor libertad para incluir en el interior del reactor tuberías destinadas a la circulación del medio que transporta el calor y otros materiales necesarios en la producción de energía útil, puesto que, en aquel supuesto, será mayor el margen de neutrones que se pueden perder por captura en estos materiales sin detener con ello la reacción en cadena.

Nuestro análisis se basará en la hipótesis de que, en la inversión inicial de combustible para el reactor, al uranio natural deberá añadirse una sustancia fisionable pura.²² En tal caso la economía de la producción de energía nuclear se verá afectada por dos motivos principales. En primer lugar, el costo de construcción por kilovatio de las centrales de energía nuclear incluirá probablemente una carga no insignificante en concepto de combustible en forma de materiales fisionables puros. De ahí que el costo del mismo figurará a la vez en el costo inicial (como combustible en forma cara), esto es, en las cargas fijas sobre la inversión, y en los gastos directos de explotación (como combustible en forma muy barata) de la central de energía nuclear. En segundo lugar, el ritmo al

²¹ Akers, *op. cit.*, p. 674; David Lilienthal, "Atomic Energy and American Industry", conferencia ante el centro de Economía de Detroit, 6 octubre 1947, CEA, bol. de prensa; R. F. Bacher y R. P. Feynman, "Introduction to Atomic Energy", *The International Control of Atomic Energy*, publicación 2661 del Departamento de Estado, *op. cit.*, pp. 21-22.

²² Aunque parece razonable suponer que una sustancia fisionable pura necesariamente formará parte de la inversión inicial en combustible para los reactores nucleares, ésta no es la única hipótesis posible. El Dr. R. F. Bacher al describir el programa norteamericano para el perfeccionamiento del reactor, ha declarado que "la parte más importante del programa para el desarrollo del reactor gira en torno de la construcción de unidades que utilicen como combustible material fisionable en su forma purificada o enriquecida... Una de las cuestiones hoy en estudio es la de si se puede construir un reactor práctico que utilice uranio natural como combustible y funcione principalmente como productor de energía, reduciendo al mínimo la reposición y recuperación del combustible. (Discurso ante la Academia Norteamericana de Artes y Ciencias sobre "El Desarrollo de Reactores Nucleares", Boston, Mass. 9 febrero 1949, CEA, bol. de prensa. Véase también el ensayo de introducción al estudio de los reactores nucleares por J. D. Cockcroft en *An International Bibliography on Atomic Energy*, vol. II, Comisión de Energía Atómica de las Naciones Unidas, edición preliminar, 14 febrero 1949). Sin embargo, no existe indicación alguna de que se siga trabajando en el proyecto de un reactor de estas características con igual intensidad que en el de los reactores que utilizan combustible enriquecido.

que la industria de la energía nuclear pueda ponerse en marcha, así como la proporción en que crezca, vendrán determinados en parte por nuestra capacidad de suministro de la sustancia fisionable pura necesaria para la inversión inicial de combustible. Como hoy en día se desconoce la cantidad de material fisionable puro necesaria para poner en marcha un reactor y no sabemos tampoco en qué proporción se crearán los nuevos materiales fisionables requeridos para este fin, habremos de trabajar, con conjeturas —tanto oficiales como oficiosas.

La Comisión Norteamericana de Energía Atómica considera que la formación de reservas de combustible es uno de los problemas que "introducen un factor temporal del orden de años en cualquier discusión relativa a cuándo la energía nuclear podrá representar una contribución notable al suministro de energía ahora obtenible de otras fuentes."²³ Esta apreciación extraordinariamente vaga nos dice, por lo menos, que una industria de energía atómica en gran escala no puede cobrar existencia en uno o dos años, y ello aunque sólo sea por la necesidad de producir el material fisionable puro destinado a la inversión inicial de combustible.

¿Cuántos años serán necesarios para acopiar sustancias fisionables hasta el punto en que la energía atómica pueda contribuir apreciablemente al suministro total de energía? La producción de material fisionable aumenta la provisión del mismo exactamente de la misma manera que el interés compuesto se incorpora al capital en una cuenta de ahorro; aunque el porcentaje de incremento anual sea fijo, el incremento absoluto crecerá de año en año a medida que aumente la magnitud del stock existente de materiales fisionables. Es obvio, por consiguiente, que los primeros años del proceso de acumulación serán los que mayor dificultad presenten en lo que concierne a la obtención de combustible para los reactores.

Se ha estimado en varias décadas, acaso, el tiempo requerido para producir material fisionable suficiente para mantener en los reactores nucleares una capacidad igual a las exigencias térmicas actuales del mundo entero.²⁴ Sin embargo, mucho antes de que los stocks asciendan a un nivel en el que puedan mantener una industria de energía atómica capaz de satisfacer las exigencias mundiales de energía, se empezará a dedicar parte de tales materiales a poner en marcha la industria de energía atómica de acuerdo con un proceso de crecimiento ordenado.

Es difícil decir cuándo se harán las primeras distribuciones de combustible para generar energía en reactores nucleares, o qué capacidad po-

²³ Comisión Norteamericana de Energía Atómica, *Third Semiannual Report*, Washington, Gov. Printing Of., 1948, p. 13.

²⁴ M. H. L. Pryce, "Atomic Power: What are the Prospects?", *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 4, agosto 1948, pp. 245-248. La demanda térmica comprende tanto el calor como la energía, no sólo energía eléctrica.

dría suministrarse al principio. Pero cabe hacer notar que Leo Szilard, un pionero del desarrollo de la energía atómica norteamericana, estimó en 1945 que entre los años 1949 y 1958 Estados Unidos podría estar en condiciones de distraer el material fisionable suficiente para producir unos 15 millones de kilovatios de electricidad.²⁵ Comparada esta cifra con el incremento total de capacidad eléctrica en Estados Unidos en 1947 que fué de unos 2 millones de kilovatios, los stocks que (de acuerdo con esta apreciación) podrían destinarse en 1958 a producir energía, podrían proporcionar durante 7 años consecutivos el incremento anual de capacidad a la tasa de 1947.

Si en vez de considerar el momento en que habrá combustible suficiente para que la energía atómica represente una parte importante de la producción total de energía, consideramos aquél en que la amplitud de los stocks bastará para que las instalaciones de energía atómica representen una parte importante del incremento general de capacidad en plantas eléctricas, el tiempo necesario se acorta de un período de décadas a otro de 5 ó 10 años (no considerando otros factores limitativos que se examinan más adelante).²⁶

En estas condiciones, el punto importante es el siguiente: ¿se dispondrá de un abastecimiento de material fisionable que permita el desarrollo de la industria de energía atómica hasta llegar a ser una de las principales fuentes de energía? Pryce estima que la reproducción de combustible nuclear puede realizarse a razón de 10 % anual. La proporción real acaso sea algo distinta, según el mayor o menor éxito con que se resuelvan los problemas técnicos en la producción de dicho combustible. Pero admitamos como buena la proporción de 10 % y compáremosla con la tasa de aumento de la producción de electricidad en plantas de servicio público en Estados Unidos. Entre 1902 (primer año del que hay estadísticas) y 1942 la producción de electricidad ha aumentado a razón del 10,7 % anual. De ahí resulta que la tasa estimada de reproducción del material fisionable apenas bastaría para mantener el paso con la tasa media anual de crecimiento de la generación de energía eléctrica. Esa tasa de reproducción resulta inferior al porcentaje de aumento de la generación durante los primeros años de la industria —un promedio de 10 a 18 % durante las dos primeras décadas del siglo xx— y es mayor que la tasa

²⁵ Declaraciones ante el Comité Especial para la Energía Atómica, Senado de Estados Unidos, 79º Congreso, 2ª sesión, parte 2, Washington, Gov. Printing Of., 1946, p. 269.

²⁶ Clark Goodman, por ejemplo, considera que "a no ser por las urgentes demandas militares de personal técnico y recursos atómicos, la energía atómica industrial proporcionaría electricidad y calefacción en muchas localidades de Estados Unidos dentro de diez años". ("Future Developments in Nuclear Energy", *op. cit.*, p. 9.)

correspondiente a la tercera década, que oscila entre el 5 y el 8 %.²⁷ Aunque no cabe llevar estas comparaciones demasiado lejos, sugieren, con todo, que la producción de sustancias fisionables permitirá a la industria de energía nuclear extenderse con un ritmo que bien puede compararse con el que presenta la historia de la producción de energía eléctrica en este país.

3. Planta y equipo

Dentro del planteamiento general del presente capítulo no dedicaremos esta sección a enumerar y describir de un modo sistemático los medios y equipos necesarios para producir energía atómica. En cambio, intentaremos describir aquellos factores de la producción que entrañan consecuencias económicas importantes. En lo que concierne a la planta y equipo, sobresalen tres características generales: 1) para convertir el calor de origen nuclear en electricidad se emplearán los medios ordinarios; 2) el funcionamiento de los reactores nucleares sólo será posible en conjunción con el de una industria química, contigua o alejada; y 3) para perfeccionar los reactores nucleares hay que resolver previamente numerosos problemas de ingeniería de gran complejidad.

a) LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD CON MEDIOS USUALES. Muchos técnicos mantienen que la central eléctrica atómica será una planta generadora térmica en la cual el reactor nuclear habrá substituído al horno corriente. Con excepción del reactor nuclear (horno) y de las instalaciones complementarias, cuyos costos se desconocen, todo el equipo de la central será aproximadamente igual al de una central eléctrica ordinaria que queme carbón, petróleo o gas natural. Sumner Pike, de la Comisión Norteamericana de Energía Atómica, ha señalado algunas de las nuevas dificultades que se presentan en el caso de una planta nuclear: "... en la caldera ordinaria hay que retirar el calor en forma de vapor y llevarlo a una turbina... en este caso [el del reactor nuclear] habrá que retirar el calor en forma de algo muy caliente, probablemente no vapor, quizá algún gas inerte, o tal vez un metal líquido, y es probable que sea necesario realizar otro intercambio de calor fuera de la pila (para eliminar la radioactividad remanente), a fin de obtener algo que haga funcionar, bien una turbina de vapor ordinaria, bien algún tipo de turbina de gas".²⁸

En una planta térmica ordinaria el costo de aquellas instalaciones también necesarias en una planta eléctrica atómica no son por ningún con-

²⁷ J. M. Gould, *Output and Productivity in the Electric and Gas Utilities, 1899-1942*, Nueva York, National Bureau of Economic Research 1946, p. 39.

²⁸ Sumner Pike, "The Work of the United States Atomic Energy Commission". Discurso ante el Cooper Union Forum, Nueva York, 13 enero 1948, CEA, bol. de prensa, p. 11.

cepto despreciables. Así, en tanto la central atómica siga precisando tales medios, tendremos un cálculo firme del mínimo por debajo del cual no podrá descender el costo de la energía atómica. Esto nos da en buena medida uno de esos "límites dentro de los cuales puede desarrollarse el análisis económico" a los que nos hemos referido anteriormente.

Esta evaluación del costo mínimo de la energía atómica será válida sólo mientras lo sean los supuestos técnicos en que se basa. Pero la técnica de la energía atómica es por completo nueva. ¿No es posible que se llegue a encontrar un nuevo método para producir electricidad sin pasar por el proceso ordinario para transformar el calor en energía? A esto responde un técnico que ocupa una posición clave entre aquellos que en Estados Unidos se dedican al perfeccionamiento del reactor nuclear, diciendo que a pesar de haberse "buscado durante mucho tiempo y con empeño un procedimiento para obtener energía eléctrica directamente de la reacción en cadena" no se ha encontrado ninguno.²⁹ Otra autoridad expone su opinión aún con mayor firmeza: "Ningún medio práctico ha sido ideado todavía, ni está próximo a serlo, para convertir directamente la energía de fisión en electricidad o energía mecánica".³⁰ Este problema, pues, no figura en la misma categoría que muchos otros difíciles que deben resolverse antes de que pueda producirse energía atómica útil, pues mientras existen métodos prometedores para resolver éstos últimos, aún no se ha podido idear ningún método que sea siquiera vagamente prometedor para eliminar la máquina térmica en la producción de electricidad a partir de la fisión nuclear.

b) NECESIDAD DE PLANTAS DE TRATAMIENTO QUÍMICO. Si la necesidad de medios sobradamente conocidos en la producción de electricidad introduce un elemento familiar en un proceso por lo demás nuevo, la necesidad de contar con plantas de tratamiento químico pone de manifiesto el hecho de que parte del proceso productor de electricidad mediante la fisión nuclear no tiene paralelo en las plantas generadoras corrientes. El porqué es necesario realizar procesos químicos y cuáles son las dificultades que ello entraña ha quedado bien establecido por David Lilienthal: "Cuando la fisión ocurre se libera energía... Pero algo se deja detrás: el resultado de la fragmentación de los núcleos. Esta mezcla de isótopos de multitud de elementos es muy radioactiva. Dentro del reactor, donde todo esto ocurre, el efecto de estos elementos "candentes" sobre el funcionamiento del reactor es nocivo. Algunos de los nuevos elementos así creados absorben neutrones rápidamente, por lo que su efecto es extinguir la reacción nuclear. Los productos de la fisión —las cenizas nucleares— han de ser retirados y es menester recuperar el resto del com-

²⁹ Borst, *op. cit.*, p. 4.

³⁰ Pryce, *op. cit.*, p. 245.

combustible nuclear para usarlo de nuevo. Es una labor, ésta de separación química, que plantea determinados problemas de química, de ingeniería química y de metalurgia, altamente complejos y difíciles, labor que debe realizarse con controles a distancia a fin de proteger a los trabajadores de las radiaciones letales. No necesito recalcar las dificultades de esta clase de operación que deberá realizarse mecánicamente, ni necesito acentuar la importancia económica de lograr una recuperación eficiente del combustible nuclear no consumido [esto es, de las sustancias fisiónables puras], ya que es éste un material que no debe desperdiciarse sean cuales fueren las circunstancias".³¹

La finalidad del tratamiento químico consiste, por lo tanto, en separar el material fisiónable no gastado, parte del cual se creará durante el funcionamiento del reactor, y la materia prima para la manufactura de material fisiónable no utilizada (es decir, el uranio 238 o el torio), de los productos de fisión, los cuales, en otro caso, disminuirían la eficacia del funcionamiento del reactor. El proceso se dificulta no sólo por las letales características de esas materias, sino también por el hecho de que para extraer el material fisiónable es preciso separar muy bajas concentraciones de un elemento de muy altas concentraciones de otros.³² Además, la economía en el uso de las materias primas probablemente exigirá que una sola carga de uranio o torio sea sometida varias veces al tratamiento químico. Se ha dicho de este proceso que, a pesar de las dificultades, es "paralelo a las operaciones usuales en la industria química inorgánica."³³

La consecuencia económica más importante respecto a la necesidad de acudir a procesos químicos es la posibilidad de alcanzar una economía decisiva mediante plantas químicas en gran escala.³⁴ Como resultado de esto el tamaño óptimo de las plantas de energía atómica tal vez sea muy superior a la capacidad requerida por la mayor parte de las regiones consumidoras, con costos por unidad que crecerían rápidamente para plantas de tamaño inferior al óptimo. Sin duda, se intentará resolver este problema centralizando las plantas de tratamiento químico, de suerte que una única factoría química será utilizada por distintas plantas atómicas eléctricas. El éxito de esta empresa dependerá de que los materiales radioactivos que sean tratados en aquellas factorías puedan transportarse con seguridad y a un costo razonable a distancias considerables.

No puede hoy decidirse en definitiva si será o no factible transportar materiales radioactivos, pero existen indicios de que puede hacerse. Así,

³¹ Lilienthal, "Atomic Energy and American Industry", *op. cit.*, p. 17.

³² Irvine, *op. cit.*, p. 365.

³³ "Technological Control of Atomic Energy Activities", en *The International Control of Atomic Energy*, publicación 2661 del Departamento de Estado, *op. cit.*, p. 161.

³⁴ "Atomic Energy, Its Future in Power Production", *Chemical Engineering*, vol. 51, octubre 1946, pp. 131, 133; Leverett, *op. cit.*, pp. 8, 10.

Arthur V. Peterson, del Departamento de Producción de la Comisión Norteamericana de Energía Atómica ha afirmado que en Hanford se trasladan en gran cantidad lingotes que contienen productos de la fisión;³⁵ sabemos, por otra parte, que el transporte desde las pilas hasta la central química de Hanford, distante muchas millas, se hace por tren.³⁶ (Durante la guerra había en Hanford tres reactores —se están construyendo o han sido ya construídos otros— muy separados entre sí dentro del sector reservado de Hanford que ocupa una extensión mayor que la mitad de Rhode Island.³⁷) Señala también Peterson que la Comisión de Energía Atómica ha utilizado en sus operaciones ordinarias convoyes especiales para embarcar cantidades de materiales radioactivos, consideradas excesivamente grandes para ser transportadas sin peligro por los medios comerciales ordinarios. En algunos de los informes técnicos presentados a las Naciones Unidas por Estados Unidos se encuentran pruebas adicionales de que no será imposible idear buenos métodos para transportar los productos de la fisión. En tales informes se dice que el plan norteamericano para el control internacional de la energía atómica exigiría probablemente la centralización de los medios para el tratamiento químico bajo control internacional y la expedición de “materiales parcialmente consumidos” desde las plantas generadoras controladas nacionalmente a las instalaciones químicas de recuperación.³⁸

c) PROBLEMAS DE INGENIERÍA EN EL DISEÑO DE REACTORES. Aunque el presente estudio no es el lugar adecuado para catalogar los problemas de ingeniería que es menester resolver antes de que la energía atómica sea una realidad práctica, es útil considerar en breve la naturaleza general de dichos problemas, particularmente en conexión con el desarrollo en el tiempo de la energía atómica en Estados Unidos y otros países.

Quizá la mejor introducción a la naturaleza general de tales problemas se encuentre en las dos siguientes citas de especialistas que han trabajado en el diseño de reactores. Borst indica la dificultad que presenta el encontrar materiales estructurales adecuados para el reactor: “Una de las ironías de la naturaleza consiste en que los materiales comunes en ingeniería, tales como metales a base de hierro y la mayor parte de los metales no férricos, absorben neutrones y no pueden utilizarse en el in-

³⁵ “Digest of Proceedings”, Seminario sobre destinación de los residuos radiactivos, patrocinado por la Comisión de Energía Atómica, 24-25 enero 1949, CEA, bol. de prensa, 30 enero 1949, p. 19.

³⁶ John A. Wheeler, “Inspection of Manufacturing Processes: Possibility of Detection”, en *Reports and Discussion on Problems of War and Peace in the Atomic Age*, Comité de Energía Atómica, Carnegie Endowment for International Peace, Nueva York, 1946, p. 56.

³⁷ *Atomic Energy Development, 1947-1948*, Comisión Norteamericana de Energía Atómica 5º informe semestral, Washington, Gov. Printing Of., 1949 pp. 24-27.

³⁸ “Technological Control of Atomic Energy Activities”, *op. cit.*, pp. 179, 183.

terior de los reactores térmicos. Por otra parte, aquellos metales que no absorben neutrones carecen de resistencia mecánica y experimentan una corrosión excesiva a las temperaturas necesarias”.³⁹ E. R. Gilliland expresa una queja todavía más general: “Se plantean cierto número de cuestiones al tratar de la absorción del calor liberado en el reactor, pero para el ingeniero la más importante es que el físico prefiere que el ingeniero mantenga su equipo fuera del reactor. Al parecer, cabe oponer reparos a casi todos los materiales utilizados en el reactor. Si se emplea un gas como el helio, nos encontramos con que nada hay que objetar al mismo desde el punto de vista de sus propiedades nucleares, pero no es un buen moderador [esto es, resulta relativamente ineficaz para disminuir la velocidad de los neutrones] y aumenta, por consiguiente, el tamaño del reactor. Muchos líquidos requieren materiales estructurales para los conductos por los que fluyen que adolecen de inconvenientes para su uso en reactores térmicos. El objetivo principal estriba en separar el calor liberado sin perturbar las características físicas del reactor más de lo absolutamente necesario”.⁴⁰

La necesidad crucial se centra en encontrar nuevos materiales que realicen las funciones ordinarias: proporcionar el soporte estructural, conducir el calor, servir de paso al medio conductor de calor, etc. El problema de los materiales estructurales es particularmente crítico y llega a serlo tanto más cuanto más alta es la temperatura deseada: se trata aquí de descubrir substancias capaces de soportar elevadas temperaturas y una intensa radiación y que, sin embargo, no absorban demasiados neutrones, cual ocurre, por ejemplo, con el acero. Si bien el problema constituye un reto formidable, un funcionario de la Comisión de Energía Atómica ha asegurado que existen “toda clase de razones para esperar una solución satisfactoria dentro de cierto tiempo.”⁴¹ Merece hacerse notar que la solución probablemente dependerá de que se consigan materiales esencialmente nuevos con propiedades nucleares, químicas o físicas peculiares, por ejemplo, de que se descubra la manera de producir circonio puro en forma de material estructural,⁴² o la forma de refinar los materiales usuales hasta un grado de pureza muy superior al actual.⁴³

Los problemas de ingeniería se asemejan al problema de la formación

³⁹ Borst, *op. cit.*, p. 4.

⁴⁰ E. R. Gilliland, “Heat Transfer”, capítulo 10, *The Science and Engineering of Nuclear Power*, *op. cit.*, p. 323.

⁴¹ Pike, “The Work of the United States Atomic Energy Commission”, *op. cit.*, p. 11. El programa de la Comisión de Energía Atómica para el desarrollo del reactor incluye un reactor cuya finalidad primaria es el ensayo de materiales que puedan utilizarse en el futuro en la construcción de reactores. Como fecha para iniciar la construcción del mismo se ha señalado la primavera de 1950 (CEA, bol. de prensa, 28 noviembre 1949, *op. cit.*).

⁴² *Atomic Energy Development, 1947-1948*, *op. cit.*, p. 64.

⁴³ Spedding, *op. cit.*, p. 49.

de reservas de combustible, que antes consideramos, en el sentido de que también ellos introducen un factor tiempo del orden de años en cuanto al momento posible en que la energía atómica representará una contribución importante al incremento anual de la oferta de energía. El Comité General Asesor de la Comisión de Energía Atómica ha informado que ni aún en el supuesto más favorable respecto al progreso técnico "puede entreeverse cómo sería posible... que antes de transcurridos 20 años el combustible nuclear haya substituído a una parte considerable del actual suministro mundial de energía."⁴⁴ Esta hipótesis, a pesar de su forma negativa, es en cierto sentido una predicción muy favorable. Porque si dentro de 20 años una parte considerable de la oferta mundial de energía es energía nuclear, esto entraña que muchos años antes un tanto por ciento apreciable del aumento anual de la capacidad instalada consistirá en energía atómica. Podemos señalar, a modo de ejemplo, que las locomotoras diesel están ya muy perfeccionadas desde el punto de vista técnico, conforme atestiguan las estadísticas de locomotoras incorporadas a los ferrocarriles norteamericanos en estos últimos años, pero aun cuando el 90 % de las nuevas locomotoras cuya construcción ha sido encargada por nuestros ferrocarriles en años recientes son del tipo diesel, éstas sólo manejan alrededor del 30 % de la carga total en toneladas-kilómetro.⁴⁵

Aunque el Comité Asesor se refirió al suministro mundial de energía, podemos suponer que sus miembros pensaban principalmente en Estados Unidos al considerar el tiempo necesario para superar estos complejos problemas de ingeniería. Si el desarrollo de la energía atómica continúa descansando por completo sobre una base nacional, ese período de tiempo será para muchos países considerablemente mayor (aun en el supuesto de que todos pongan en juego el mismo esfuerzo absoluto). Otros países, incluso los muy industrializados, acaso encuentren mayores problemas (como sucedió en el caso de Francia) cuando intenten producir con su industria los materiales extraordinariamente purificados necesarios para llevar a buen fin su primera pila atómica experimental.⁴⁶

B) LOS RECURSOS DE URANIO Y TORIO

Es obvio que la investigación de las posibilidades comerciales de la energía atómica tendría muy poco interés si los recursos en uranio y

torio no fueran suficientes para mantener un elevado nivel de producción durante un largo período de tiempo. Casi es nula la información cuantitativa acerca de los recursos en materias primas de uranio y torio publicada oficialmente desde que se tuvo conocimiento de que estos minerales podrían utilizarse como fuente de material fisionable. La información que data de tiempos anteriores es inadecuada porque el descubrimiento de reservas de mineral depende de la demanda y la demanda de uranio y torio era antes muy pequeña.

Sin embargo, algunos funcionarios norteamericanos han dado a conocer informaciones muy significativas, aunque no de carácter cuantitativo. Así, el Sr. Lilienthal ha dicho:⁴⁷ "Se ha afirmado una y otra vez que sólo existe mineral de uranio para un período relativamente breve, con lo cual las perspectivas de la energía atómica se reducen de modo considerable. Simplemente, esto no es así. Está comprobado que la energía atómica descansa sobre una base segura durante un período futuro indefinido... Tan explícitamente como la seguridad nacional lo permite, la Comisión de Energía Atómica desea asegurar que no encuentra fundamento alguno para estos juicios sobre la extremada limitación del mineral de uranio... Antes bien, es cierto todo lo contrario. El número de reservas conocidas ha aumentado substancialmente desde que quedó demostrada la utilidad del uranio como fuente de material fisionable".

¿Cuáles son las fuentes de torio y uranio que suministrarán el combustible para la producción de energía atómica? Los depósitos de uranio de ley más elevada están constituidos por pechblenda y los minerales de torio de más alta ley aparecen en forma de arenas de monacita. Las concentraciones conocidas más importantes de ambos materiales se encuentran fuera de Estados Unidos: la pechblenda principalmente en el Canadá y el Congo Belga y la monacita sobre todo en la India y el Brasil. Es probable que al formular aquella declaración Lilienthal no pensase en estos recursos extranjeros, sino en otros minerales que se encuentran en Estados Unidos. Entre ellos se incluyen, sin duda alguna, tanto los depósitos de carnotita del Colorado, que fueron explotados en el pasado por su contenido de vanadio, como también ciertos esquistos bituminosos y otros sedimentos marinos que existen en este país en gran abundancia, pero que en la actualidad no se explotan.⁴⁸

⁴⁷ Conferencia de prensa sobre "Uranium Supplies", Denver, Colorado, 17 diciembre 1948, CEA, bol. de prensa, pp. 1, 2.

⁴⁴ CEA, 4º Informe semestral, *op. cit.*, p. 46.
⁴⁵ "Monthly Comment on Transportation Statistics", Comisión de Comercio Interestatal, Oficina de Economía y Estadística de Transportes, Washington, 11 octubre 1949. El porcentaje de transporte de mercancías en locomotoras diesel se refiere a los siete primeros meses de 1949; en un período análogo de 1948 ascendió a 20 % del total.

⁴⁶ L. Kowarski, "Atomic Energy Developments in France", *Bull. of the Atomic Scientists*, vol. 4, mayo 1948.

⁴⁸ Véase también la declaración de Carroll Wilson, Administrador General de la Comisión de Energía Atómica, ante el Subcomité del Comité de Egresos de la Cámara: "Creemos que mediante la explotación de materias de bajo contenido, problema éste que se investiga hoy desde todos los puntos de vista, conseguiremos obtener uranio de materiales que lo contienen en cantidades extraordinariamente pequeñas. Hasta el presente hemos utilizado depósitos de alta riqueza", *op. cit.*, p. 1109.

La posibilidad de obtener uranio con dichos esquistos ha merecido particular atención en el examen de las fuentes de material fisionable disponibles. En una declaración oficial, "Major Classes of Uranium Deposits", la Comisión de Energía Atómica, afirma que:⁴⁸ "Desde hace tiempo se sabe que algunos esquistos bituminosos y otros sedimentos marinos, incluso los lechos fosfáticos, contienen muy pequeñas cantidades de uranio. Suecia, por ejemplo, ha anunciado que está construyendo una pequeña pila atómica e intenta obtener con sus esquistos el uranio para alimentarla. De acuerdo con los datos publicados, los depósitos suecos que contienen muchos millones de toneladas de "mineral", llevan alrededor de 0,02 % de óxido de uranio... El uranio, como subproducto de las industrias de los citados esquistos o del fosfato, puede contribuir al desarrollo de la energía atómica en distintos lugares del mundo. La CEA espera agotar cualquier posibilidad de este carácter que exista en Estados Unidos".

Dentro de este mismo orden de ideas el Dr. Gustav Egloff, director de investigaciones de la Universal Oil Company, ha hablado de la posibilidad de que los esquistos puedan explotarse en el futuro tanto por su contenido de petróleo como por su contenido de uranio, lo que reduciría el costo de producción de ambos materiales.⁵⁰ Otro investigador de este problema opina que los esquistos pueden resultar a la postre nuestra principal reserva de uranio.⁵¹

La importancia así atribuida a los esquistos bituminosos sirve para poner de manifiesto la trascendental posibilidad, tanto para Estados Unidos como para otros países, de que el uranio y el torio puedan llegar a obtenerse principalmente partiendo de minerales que antes no se beneficiaban con ese fin porque se consideraba que su contenido era demasiado bajo para justificar su explotación comercial. Apoya este punto de vista la información según la cual la producción de uranio en la Unión Sudafricana como subproducto de la industria minera del oro resulta tan prometedora que el Ministro de Producción Industrial ha dicho: "Creemos estar en condiciones de afirmar que la Unión Sudafricana puede producir más uranio que ningún otro país del mundo".⁵²

⁴⁸ CEA, bol. de prensa, 9 diciembre 1948, p. 2.

⁵⁰ *New York Times*, 18 septiembre 1947, p. 27, col. 1. Basado en un discurso ante la Sociedad Norteamericana de Química.

⁵¹ Clark Goodman, "Distribution of Uranium, Thorium and Beryllium Ores and Estimated Costs", notas de conferencias (Nº 26) sustentadas en Clinton National Laboratories, 1947, no clasificado.

⁵² Citado en la conferencia sobre "Uranium Resources" de J. K. Gustafson, Administrador para la explotación de materias primas, Comisión Norteamericana de Energía Atómica, pronunciada ante la convención Metalúrgica, Instituto Tecnológico de Massachussetts, Cambridge, Mass. 9 marzo 1949, CEA, boletín de prensa, p. 9. Observemos que la Comisión de Energía Atómica anunció el 10 de noviembre de 1949 que ciertos representantes de los gobiernos estadounidense y británico es-

El precio de los minerales de uranio y torio puede aumentar si se explotan depósitos de ley inferior a los explotados hoy. ¿Cómo afectaría al costo de producción de la energía atómica un cambio en el precio de dichos metales? Sentamos anteriormente la hipótesis de que un reactor individual o un "grupo reactor" produciría, a partir del uranio y del torio naturales, por lo menos la cantidad de substancia fisionable nueva (plutonio o uranio 233) suficiente para substituir el material fisionable gastado en la producción de energía. Esto significa que el peso completo de uranio o torio, no ya únicamente una parte, podría convertirse en combustible nuclear, con el resultado de que "quemando" una libra de cualquiera de estos metales se generarían alrededor de $2\frac{1}{2}$ millones de kilovatios-hora de electricidad. Teniendo en cuenta esta relación, podemos ver que incluso aumentos importantes en el costo de obtención del mineral de uranio no repercutirían notablemente en el costo de la energía atómica. Por ejemplo, con uranio a precio de tiempo de guerra, es decir, Dls. 20 por libra, el costo del kilovatio-hora (suponiendo una conversión 100 % en combustible nuclear) sería de 0,008 milésimos de dólar. Ahora bien, si el precio del uranio aumentase diez veces, hasta Dls. 200 por lb., el costo por kilovatio-hora sería sólo de 0,08 milésimos y aun cuando el precio se tuviera que multiplicar un centenar de veces, hasta Dls. 2.000 por lb., el costo del kilovatio-hora sería todavía de sólo 0,8 milésimos. A Dls. 2.000 por libra, el uranio no sería más caro, en términos de su contenido energético, que el carbón a unos Dls. 1,60 por tonelada (supuesta igual eficiencia térmica). El significado de estos números puede apreciarse mejor si se considera que las empresas eléctricas pagaron un promedio de casi Dls. 5 por tonelada de carbón en 1946.

Es éste, ciertamente, un combustible maravilloso: puede soportar considerables aumentos en el costo de su extracción y refinación y seguir todavía siendo más barato que el carbón más barato. Claro es que para producir electricidad con uranio será preciso emplear medios que no son necesarios en una planta termoeléctrica ordinaria, lo cual a su vez afectará al costo de producción de energía. Pero, de todos modos, es evidente que en el costo de la energía atómica, cualquiera que sea, no es probable que influyan grandemente los cambios en el costo del uranio y del torio.

Hasta aquí y en términos generales hemos llegado a las conclusiones siguientes: en primer lugar, se podrá disponer de uranio y torio en cantidades suficientes para mantener una gran industria de energía atómica y, en segundo lugar, los posibles cambios en el costo de obtención de estos metales a partir del mineral en bruto no afectará sensiblemente al

taban discutiendo por aquel entonces con el gobierno de Sud África algunos "problemas sobre la producción de uranio en la Unión Sudafricana" (CEA, boletín de prensa, 10 noviembre 1949, p. 1).

costo de producción de dicha energía. Se ha intentado examinar ambas cuestiones en términos más concretos estimando las cantidades beneficiables del uranio y torio contenidos en minerales de diferente riqueza, y su costo de explotación. Resumiremos uno de estos informes que es obra conjunta del profesor Clark Goodman, del Instituto Tecnológico de Massachusetts (quien estimó la cantidad y ley de las reservas) y John R. Menke, ex miembro del Laboratorio Nacional de Clinton (quien evaluó el costo de extracción y refinación).⁵³

De acuerdo con los cálculos de Goodman y Menke, las reservas de uranio y torio de Estados Unidos "decididamente beneficiables" alcanzan casi los 100 millones de libras y se encuentran principalmente en la carnotita. Estiman que el costo de obtención del metal a partir de estas reservas será alrededor de Dls. 5 por libra una vez que las técnicas de extracción y recuperación hayan alcanzado un alto nivel de eficiencia comercial.⁵⁴ Aparte de estas reservas "decididamente beneficiables", evalúan en mil millones de libras de uranio y torio las reservas "probablemente beneficiables" de Estados Unidos. Estas consisten principalmente en esquistos bituminosos, un tipo de mineral que, como hemos dicho, empieza ya a extraerse en Suecia. El costo de producir metal empleando esquistos, lo estiman en Dls. 50 por libra.⁵⁵ Por último, consideran que existen también amplias reservas de uranio y torio en minerales que varían desde "probablemente sin valor" a "posiblemente beneficiables". Prescindiremos de éstos en lo que sigue.

Como Goodman y Menke han tenido buen cuidado en señalar, estos cálculos, hechos enteramente a ojo, carecen de exactitud, pero concuerdan con los datos cualitativos antes citados. Acaso sea útil resumir los re-

⁵³ C. Goodman, notas de conferencias pronunciadas en Clinton Laboratories, *op. cit.*; J. R. Menke, "Nuclear Fission as a Source of Power", *Econometrica*, vol. 15, octubre 1947, pp. 321-324.

⁵⁴ La evaluación del costo hecha por Menke es particularmente interesante. Para buen número de minerales obtenidos en yacimientos subterráneos este autor recopiló datos acerca del precio del mineral refinado y del contenido metálico de los minerales marginales. Multiplicando el precio por el porcentaje de contenido metálico dedujo un valor sintético para el costo de extracción y refinación del metal contenido en una unidad dada, por ejemplo en una libra de mineral. Descubrió así que el costo de extracción y refinación, *por libra de mineral en bruto*, de minerales muy diferentes es extraordinariamente parecido, resultado que Menke atribuye a la semejanza de muchas de las operaciones llevadas a cabo sea cual sea el mineral. Con otras palabras, el costo de minerales obtenidos de acuerdo con métodos similares de extracción, está, según esto, determinado en buena parte por *el número de libras de mineral en bruto extraídas por libra de mineral puro*. Se aplicó este principio, con valores adecuados deducidos de los cálculos, para estimar el costo del uranio y del torio obtenidos a partir de minerales de diferente ley.

⁵⁵ Cabe comparar esta cifra con una evaluación debida a Josef Eklund del Servicio Geológico Sueco, según la cual se puede extraer uranio de los esquistos suecos a un costo de Dls. 23 por libra (Departamento del Interior de E. U., Oficina de Minas, *Minerals Yearbook*, 1947, Washington, Gov. Printing Of. p. 1209).

ultados de Goodman y Menke. Suponiendo una conversión completa del uranio y del torio en material fisiónable, se tiene:

		Número aproximado de años durante los cuales las reservas serían suficientes para producir energía eléctrica al nivel de la producción de 1946 en los EE. UU.	Costo del uranio o torio en la producción de electricidad (milésimos de dólar por KWH).
Reservas "decididamente beneficiables"	1.000	0,002	
Reservas "probablemente beneficiables"	10.000	0,020	

Estos cálculos no deben tomarse como una medida exacta del número de años que durarán nuestras reservas de materia prima para la energía atómica. No sólo las cantidades indicadas de reservas proceden de una evaluación sumamente burda, sino que, además, el consumo de electricidad rebasará notablemente el nivel de 1946; por otra parte, la energía atómica puede utilizarse para otros fines además de como fuente de electricidad. Más bien hay que interpretar estos números como índice de que en Estados Unidos se encontrará el uranio y torio en cantidades suficientes para mantener un nivel alto de producción de energía atómica durante muchos centenares de años, y a un precio que representará una partida insignificante del costo total de la electricidad (0,002 milésimos o 0,020 milésimos de dólar por KWH puede considerarse un costo de casi cero para fines prácticos), como además hay indicios de que en distintas partes del mundo existen los esquistos bituminosos (y otros sedimentos marinos) que forman nuestras principales reservas de acuerdo con este análisis,⁵⁶ aparte de reservas de más alta ley en algunas localidades, hay razón para creer que para un número importante de otros países es válida una generalización similar.

C) COSTO DE LA ENERGÍA ATÓMICA

1. Base conceptual de la evaluación del costo

Como punto de partida para el cálculo aproximado del costo de la energía atómica hemos elegido el costo de producción de energía eléctrica en una planta de tipo común alimentada con combustible ordinario. Nuestra elección se basa en dos causas. En primer lugar, existen importantes puntos de semejanza entre tal planta eléctrica y una planta atómica; de ahí que los costos en la central ordinaria nos ayudarían en cierto modo a la evaluación de los costos atómicos. En segundo lugar,

⁵⁶ Véase la declaración de la Comisión de Energía Atómica citada en la p. 36.

al determinar el costo de producción en una planta termoeléctrica ordinaria, hemos aplicado ciertos valores indicados por la contabilidad general y la ingeniería. Estos valores sólo se ajustan hasta cierto punto a un patrón general y, por consiguiente, su elección tiene algo de arbitrario. Como nuestro interés reside en comparar los costos de la energía eléctrica atómica con la ordinaria, convendrá emplear los valores contables y técnicos *particulares* que hemos aplicado para calcular nuestros costos de producción como base de estimación del costo de la energía eléctrica atómica.

En nuestra valoración del costo de la electricidad térmica ordinaria, nos interesa mostrar cómo varían los costos en distintas regiones en relación, principalmente, con su distancia de las minas de carbón (u otras fuentes de energía) y con el costo de transportar el combustible. La razón para poner de relieve las variaciones que en el costo de la energía ordinaria causa el transporte del combustible, estriba, como es natural, en que la energía atómica se producirá, por contraste, con un combustible cuyo rendimiento energético por unidad de peso es tan grande que su transporte resultará prácticamente libre de costo. Los costos de la electricidad térmica señalados a lo largo de este estudio (principalmente en el capítulo II) se deducirán, pues, como sigue: a todos los costos de producción de electricidad térmica, salvo el costo del combustible, se les atribuye un valor constante y las diferencias en el costo de la energía se hacen depender únicamente de las variaciones en el costo de aquél. Para determinar cuál debe ser el costo constante y para traducir el costo del combustible en su equivalente por unidad de electricidad, hemos elegido aquellos factores encontrados en las grandes centrales modernas de energía que operan con la mejor práctica.

Los valores para el costo de la energía ordinaria a que así llegamos no son, por consiguiente, valores reales, sino evaluaciones aproximadas. Difieren de los costos atómicos calculados en que en el primer caso existen datos comerciales y técnicos entre los que cabe seleccionar los valores supuestos. Pero los costos específicos de la energía térmica ordinaria son, en este informe, los que son a causa de las hipótesis que han servido para calcularlos: los costos específicos de la energía atómica, en cambio, serán los que serán porque se calcula principalmente por comparación con el costo estimado de la energía ordinaria. En realidad, existe una interrelación entre ambos conjuntos de evaluaciones: se ha hecho que los costos de la energía ordinaria revelen las variaciones de sólo un factor del costo, factor que juzgamos de importancia crítica en la comparación; las cifras relativas al costo atómico toman (en parte) ciertos valores de los costos estimados comunes, para lograr así el máximo de comparabilidad compatible con los datos básicos.

2. Evaluación del costo

a) FACTORES EMPLEADOS EN EL CÁLCULO DEL COSTO DE LA ELECTRICIDAD TÉRMICA ORDINARIA.⁵⁷ En la evaluación del costo de la electricidad ordinaria supondremos que esta se genera en una planta dotada de todos los adelantos modernos, con capacidad de 75.000 a 100.000 kilovatios y que trabaja en promedio al 50 % de su capacidad (esto es, produce 4.380 KWH anuales por kilovatio de capacidad, lo cual es un coeficiente de utilización de la capacidad razonable para estaciones centrales en general).⁵⁸

Los costos que suponemos constantes para esta planta son (a precios de 1946):

- 1) Cargos fijos a razón de 3,3 milésimos de dólar por KWH. Estos resultan de:
 - a) Inversión en planta y equipo a razón de Dls. 130 por kilovatio de capacidad,
 - b) Cargos fijos sobre la inversión a razón de 11 % anual.
- 2) Costos de operación, excepto el combustible, a razón de 0,7 milésimos por KWH.

b) COSTO MÍNIMO ESTIMADO DE LA ENERGÍA ATÓMICA. Con estos valores podemos desde luego evaluar los costos por debajo de los cuales no podrá nunca descender el costo de la energía atómica mientras la transformación del calor nuclear en energía eléctrica se realice por medios ordinarios. Como ya hemos visto, el costo del uranio y del torio constituiría una parte despreciable del costo total de producción de la energía nuclear. Por consiguiente, los cargos fijos y los costos de operación (sin comprender el costo del combustible) integrarán la casi totalidad del costo. Aproximadamente $\frac{2}{3}$ de la inversión antes citada (cerca de Dls. 90 por kilovatio de capacidad) representan el costo del equipo de generación que en todo caso tendrá también que emplearse en la planta eléctrica atómica. Los cargos fijos sobre esta inversión, así como aquellos costos de explotación tales como reparación y mantenimiento del equipo, serán iguales en una planta atómica que en una planta térmica ordinaria. Si para estimar el costo *mínimo concebible* de la energía atómica suponemos que los demás costos que hemos señalado para una central térmica ordinaria serían también aproximadamente iguales en la central atómica (hipótesis optimista, ya que los medios requeridos en

⁵⁷ Resumen de la discusión contenida en el cap. II.

⁵⁸ Claro está que la capacidad de la planta debe ser tal que se pueda satisfacer el punto de demanda máxima, mientras que la demanda media se encuentra generalmente por debajo de aquél máximo. De ahí la tendencia casi universal (y, dada la naturaleza de la demanda, inevitable) de las centrales eléctricas a operar a una tasa de utilización relativamente baja.

la central atómica son más costosos que los sustituidos por ellos en la planta térmica ordinaria), el costo mínimo de la energía atómica (supuesto un factor de utilización del 50 %) sería de 4 milésimos de dólar por KWH. Este resultado nos dice que el costo de la energía atómica, en el mejor de los casos sería equivalente al de la energía térmica ordinaria producida con un combustible sin costo alguno.

c) EVALUACIÓN DE COSTOS DEDUCIDOS SEGÚN LOS ESTUDIOS PUBLICADOS SOBRE ENERGÍA ATÓMICA. En la evaluación del costo que acabamos de hacer no se intentó determinar en cuánto resultarían los instrumentos y las operaciones especiales requeridos para producir energía atómica, comparados con aquéllos a los que sustituyen en una planta térmica ordinaria. Sin embargo, estos costos han sido estimados separadamente en varios estudios sobre energía atómica ya publicados, de los cuales podemos deducir otras estimaciones de los costos atómicos. Tales estimaciones pueden considerarse menos especulativas que la anterior evaluación del costo mínimo, puesto que consideran explícitamente los rasgos singulares de la producción de energía atómica.

Los datos numéricos que usaremos han aparecido en varios informes. El más autorizado entre ellos es el sometido a la Comisión de Energía Atómica de las Naciones Unidas por el representante de Estados Unidos y preparado por miembros de la Junta de los Laboratorios Clinton bajo la dirección del Dr. C. A. Thomas (citado aquí en lo que sigue como informe Thomas).⁵⁹ Otro informe extraordinariamente útil, aunque extra oficial, fué preparado por un comité de sociólogos y físicos de la Universidad de California bajo la dirección del profesor J. B. Condliffe (citado en lo que sigue como informe "California").⁶⁰ Aunque estos dos informes forman nuestra principal fuente de información respecto a costos, han sido complementados por otros cuatro informes. Estos incluyen: un artículo de M. C. Leverett, (quien tomó parte en la preparación del informe Thomas), en el que se encuentra información más detallada sobre alguno de los cálculos que constituyen la base de las cifras publicadas por Thomas;⁶¹ un artículo de Ward F. Davidson, ingeniero investigador de la Consolidated Edison Company of New York, Inc., que contiene un estudio crítico no oficial de las evaluaciones de Thomas;⁶² finalmente, dos estudios independientes sobre el costo, uno por J. R. Menke, del Nuclear Development Associates, Inc., Nueva

⁵⁹ "Nuclear Power", *The International Control of Atomic Energy*, pub. 2661 del Departamento de Estado, *op. cit.*, pp. 121-127.

⁶⁰ "Atomic Energy, Its Future in Power Production", *op. cit.*

⁶¹ Leverett, *op. cit.*

⁶² W. F. Davidson, "Nuclear Energy for Power Production", trabajo leído en la Conferencia sobre Economía de Combustibles de la Conferencia Mundial de Energía, La Haya, 1947.

York,⁶³ y el otro por C. F. Wagner y J. A. Hutcheson de la Westinghouse Electric Corporation.⁶⁴ El estudio de Menke contribuyó en grado considerable a la formulación del enfoque general seguido en nuestro análisis del costo.

Aunque alguno de estos informes contiene sus propias evaluaciones del costo de producción de la energía atómica, no emplearemos directamente estas cifras de costo. En lo que queda de esta sección, por el contrario, intentaremos adaptar las cifras sobre las que descansan sus evaluaciones al marco conceptual que rije nuestros cálculos. Los resultados así obtenidos dan el costo de la energía nuclear como podría haber sido estimado en, por ejemplo, el informe Thomas o el California, si el cálculo se hubiese hecho por comparación con los costos de la energía térmica ordinaria, tal como hacemos aquí.

1) *Inversiones en planta y equipo.* La inversión en la planta y equipo necesarios para la producción de energía atómica puede considerarse en dos partes: aquellos elementos de la planta y equipo que serán iguales que en la planta termoelectrica ordinaria, y aquellos elementos privativos de la planta de energía nuclear. Estimamos el costo de los elementos comunes en Dls. 90 por kilovatio de capacidad, lo cual representa, como dijimos antes, aproximadamente $\frac{2}{3}$ de la inversión supuesta para las plantas térmicas ordinarias. Esa proporción es un término medio entre las sugeridas en algunos de los estudios arriba citados.⁶⁵

Comenzaremos el examen de los cálculos llevados a cabo para estimar la inversión necesaria en nuevas instalaciones nucleares con los datos que nos ofrecen los informes California y Thomas. Aunque en ambos las evaluaciones parecen basarse en una consideración bastante detallada de los medios especiales requeridos por la central de energía atómica, los costos a que se llega en uno y en otro difieren ampliamente. En dichos informes se dan los siguientes valores para equipos especiales requeridos por una planta nuclear (a precios de 1946):

Dls. 226 por kilovatio de capacidad	(Thomas) ⁶⁶
Dls. 48 " " " "	(California)

Evidentemente, ambas evaluaciones están rodeadas por un área considerable de indeterminación, ya que todavía no se ha construido ninguna planta para la producción comercial de energía atómica útil, ni, que se-

⁶³ Menke, *op. cit.*

⁶⁴ Wagner y J. A. Hutcheson, "Nuclear-Energy Potentialities", *Westinghouse Engineer*, vol. 6, julio 1946.

⁶⁵ Como proporción adecuada, Menke sugiere $\frac{1}{4}$, Davidson $\frac{1}{2}$ y Wagner y Hutcheson $\frac{3}{4}$.

⁶⁶ Tomamos esta cifra del trabajo de Leverett. En el informe Thomas no aparece desglose de costos.

pamos, se ha siquiera proyectado. Pero su gran disparidad puede proceder de otros factores que se añaden a dicha indeterminación.

Parte de la diferencia entre uno y otro cálculo parece deberse al hecho de que la evaluación de Thomas se refiere a una planta de 75.000 kilovatios y la del informe California es para una de 500.000 kilovatios. Este informe se basa a propósito en una planta excepcionalmente grande para centrales generadoras de energía (500.000 KW.) porque los autores creen que una planta cuyas dimensiones sean de este orden se acercaría al óptimo requerido con vistas a las instalaciones de separación química. Esto puede proporcionar una importante clave para explicar la diferencia entre las dos evaluaciones, porque, si los cálculos de Thomas para una planta de 75.000 kilovatios incluyen la totalidad de la inversión en instalaciones químicas complementarias, este factor hasta determina parte de la diferencia existente en la inversión por unidad. Aunque no podría decirse si el cálculo de Thomas incluye efectivamente las instalaciones químicas auxiliares de su planta de energía atómica, los comentarios de Leverett sobre ese cálculo indican que sí. Cabe en lo posible, por lo tanto, que si los citados medios para el tratamiento químico pudiesen centralizarse y servir así a numerosas plantas de energía nuclear, la inversión por unidad calculada en el informe California, podría también aplicarse a una planta de menor tamaño y, por otra parte, la inversión señalada por el informe Thomas para una central de 75.000 kilovatios podría ser algo más baja.

Sin embargo, aun en el supuesto de que se omitiera en absoluto el costo de las instalaciones químicas auxiliares en el cálculo de Thomas, la inversión en los restantes medios especiales de la central nuclear (en primer término, el propio reactor) ascendería aun a Dls. 160 por kilovatio (de acuerdo con las cifras de Leverett), lo cual excede en mucho a la inversión total de Dls. 48 por kilovatio en medios nucleares especiales, incluyendo la planta química, calculada en el informe California. Como no hay información alguna que permita sostener que el costo unitario de dichos medios disminuirá grandemente al aumentar la capacidad de la central por encima de los 75.000 kilovatios, la hipótesis más razonable que podemos hacer es que esa diferencia en el cálculo del costo unitario debe atribuirse a un verdadero desacuerdo en cuanto al costo de las instalaciones independientemente de las diferencias de tamaño de la planta eléctrica.

Los cálculos del informe Thomas parecen basarse, hasta cierto punto, en la experiencia obtenida en la construcción y funcionamiento de las primeras pilas de Hanford y en la dirección del trabajo experimental en Oak Ridge, mientras que el informe California fundamenta sus costos en datos de ingeniería aplicables a procesos industriales análogos, procesos en los que muchos de los problemas planteados por el proyecto

han sido ya resueltos. Quizá sea adecuado suponer que la estimación del informe California representa el nivel a que pueden descender los costos de la energía nuclear después de que la industria de la energía atómica comercial haya adquirido muchos años de experiencia y haya llevado su tecnología a un alto grado de eficiencia. Por otra parte, los cálculos del informe Thomas representan el nivel de los costos en las primeras centrales comerciales productoras de energía nuclear.

En estas circunstancias, una cifra comprendida entre esas dos estimaciones es, probablemente, una evaluación más exacta que cualquiera de aquéllas dos del nivel de costos que regirá en las centrales de energía atómica que se construyan entre, pongamos por caso, los 5 y los 10 años siguientes a la construcción de las primeras plantas comerciales. La razón de ello reside en que estas centrales se beneficiarán de los perfeccionamientos derivados de lo aprendido en la construcción y manejo de las centrales comerciales de modelo más antiguo, si bien a su vez caerán por debajo de los diseños altamente eficientes que resultarán de la experiencia de un buen número de años de explotación comercial. En relación con esto, es significativo el siguiente comentario que encontramos en el informe Thomas sobre las evaluaciones hechas en el mismo: "Parece razonable creer que el futuro desarrollo de la energía nuclear dará por resultado la tipificación de los proyectos y las construcciones y una reducción substancial en los costos de inversión y explotación".⁶⁷

Los demás estudios citados dan para los costos de inversión en plantas nucleares especiales valores comprendidos entre los estimados en los informes Thomas y California. Menke afirma que, aun cuando los costos son hoy más elevados, una "meta razonablemente alcanzable" para el costo de dicho equipo es alrededor de 100 a 120 dólares por kilovatio.⁶⁸ En su estudio, Wagner y Hutcheson suponen que los equipos atómicos especiales pueden costar de 2 a 4 veces lo que cuesta el equipo correspondiente de una planta de vapor que quema carbón,⁶⁹ mientras Davidson indica que "parecería razonable" ⁷⁰ un costo 4 veces superior al del equipo substituído. Partiendo de Dls. 40 por kilovatio como costo de las instalaciones de la planta de carbón que sería reemplazada por

⁶⁷ "Nuclear Power", *op. cit.*, p. 126.

⁶⁸ Menke, *op. cit.*, p. 328.

⁶⁹ Wagner y Hutcheson, *op. cit.*, p. 126.

⁷⁰ Davidson, *op. cit.*, p. 6. En un estudio publicado después de haber sido escrito este capítulo, Davidson estima que el equipo nuclear costaría por lo menos tres veces más que el equipo al que substituye en una planta que quema carbón ("Atomic Power and Fuel Supply", *Atomies*, vol. 5, octubre 1949, p. 13). Aunque este factor concuerda con el indicado en el valor promedio que deducimos más adelante, el valor de la inversión total que deducimos sobre esta base es muy distinto al señalado por Davidson en dicho artículo. La diferencia se debe, principalmente, al hecho de que nuestros cálculos se basan en precios del año 1946, mientras que los de Davidson se refieren a precios de 1949.

el equipo especializado de tipo nuclear, los costos irán desde 80 a 160 dólares por kilovatio según los factores dados por Wagner, Hutcheson y Davidson.

Estos valores son aproximaciones muy burdas. Resulta evidente, dada la forma en que fueron obtenidos, que sólo sirven de guía para evaluar el nivel general de costos del equipo específicamente nuclear. Como nuestro análisis ganaría muy poco si aplicásemos todas las cifras de costo de la energía atómica, que por separado podríamos deducir de estos estudios, hemos elegido un valor único para representarlas todas. Este valor, que constituye un promedio aproximado de las distintas evaluaciones, es de Dls. 125 por kilovatio para las instalaciones nucleares típicas.⁷¹ Suponemos que este nivel de costos es aplicable a un período intermedio entre el estado primitivo de desarrollo de la energía atómica, que creemos es base de la evaluación del Informe Thomas, y el de la industria atómica técnicamente madura correspondiente, en nuestra opinión, al informe California.

Por tanto, las cifras de inversión total por kilovatio de energía atómica que se utilizarán en el presente estudio son, (a precios de 1946 y para una planta de 75.000 kilovatios):

	Para las instalaciones comunes	Para las instalaciones específicas		Total
Estimación máxima	\$ 90	\$ 226	(aproximado)	\$ 315
" intermedia	90	125	"	215
" mínima	90	48	"	140

La evaluación máxima de la inversión en instalaciones específicas* se ha tomado del informe Thomas, la mínima del informe California y la evaluación intermedia procede de otros informes. Aunque creemos que cada una de estas evaluaciones se refiere a estadios distintos en el desarrollo de la energía atómica, las usaremos también, estrictamente, en nuestro posterior análisis como cálculos alternativos de la inversión posible en energía atómica; cualquiera de ellos puede resultar el costo estable "real" según la manera en que los múltiples factores desconocidos actúen en el difícil proceso de desarrollo.⁷²

⁷¹ Ha de observarse que este costo se acerca mucho al que podría deducirse promediando las estimaciones que se encuentran en los informes Thomas y California acerca del costo del equipo nuclear especializado a saber, Dls. 137 por kilovatio.

* Se llaman instalaciones específicas aquellas que es preciso utilizar en una planta atómica y son innecesarias en una planta térmica del tipo usual [T.]

⁷² Es, sin duda, posible que el costo de construcción de las plantas de energía nuclear sea superior al más alto de los valores indicados. Pero el análisis que se-

2) *Relación costos fijos-inversión.* En general se considera que los gastos fijos incluyen partidas del costo tales como interés, margen de depreciación y obsolescencia, impuestos a la propiedad, costos de franquicia, seguros, ciertos gastos de administración, etc. La característica que estos costos poseen en común es que se mantienen siempre casi al mismo nivel absoluto cualquiera que sea el ritmo a que funcione la central. El método empleado para calcular los costos fijos en evaluaciones como las que aquí realizamos consiste en estimarlos sobre una base anual como un tanto por ciento fijo de la inversión en planta y equipo, aunque de hecho no todos ellos se causan sobre esa base. Para plantas termoeléctricas ordinarias, hemos calculado los costos fijos anuales como un 11 % de la inversión en planta y equipo. Por las razones explicadas en el Apéndice A de este capítulo, supondremos válida la misma proporción para una planta de energía nuclear.

3) *Costo total de producción de energía atómica.* El cuadro 1 resume los cálculos del costo que se usarán en los siguientes capítulos. Las cargas fijas y el costo de combustible se basan en los valores señalados en secciones anteriores. Los costos de explotación que no corresponden al combustible, se han deducido directamente o del informe California (costo mínimo), o del Thomas (costo máximo) o según un conjunto de valores deducidos de varios informes (costo medio). El cuadro incluye también el costo mínimo calculado por nosotros en una sección anterior a partir directamente del costo en una planta térmica ordinaria, excluido el combustible; en este cálculo no se hace desglose alguno de los costos pero su íntima semejanza con el costo estimado en el informe California sugiere un desglose similar.

La calificación de las estimaciones de costos como "mínima", "intermedia" y "máxima" está de acuerdo con el uso explicado al calcular el valor de la inversión, es decir, representa, en parte, un intento de formarnos una idea del camino que tomarán los costos de la energía atómica en el transcurso del tiempo, y en parte es un reflejo de la incertidumbre básica que hoy existe respecto a la mayoría de las partidas del costo. Para simplificar, indicaremos las tres clases de costos en números redondos: 4.0-4.5 (mínimo), 6.5-7.0 (intermedio) y 10.0 (máximo).⁷³

guirá más adelante revela que la energía atómica tendría escasa importancia desde el punto de vista económico, con un costo como el de nuestro cálculo más alto, que sin embargo, algunos pueden considerar demasiado bajo. En consecuencia, con vistas a nuestro análisis carecería de toda utilidad usar valor alguno del costo superior al que figura en el informe Thomas. No obstante, hay que reconocer que en el estado actual de nuestra información, no cabe afirmar que la zona de costos supuesta incluya todas las posibilidades.

⁷³ Estas evaluaciones cubren tan solo costos de producción; habrá también costos de transmisión de la energía eléctrica a los consumidores. En las comparaciones

4) *Efectos del cambio de algunas de las hipótesis básicas.* Las evaluaciones del costo que acabamos de presentar se hicieron, conforme hemos puntualizado, para compararlas con los valores del costo de producción de la energía termoeléctrica ordinaria estimado conforme a ciertas hipótesis. En todos aquellos puntos en que nos pareció conveniente hemos aplicado esas mismas hipótesis a nuestros cálculos del costo de la energía atómica, dentro de los límites permitidos por los datos disponibles sobre energía nuclear. Pero es importante comprender que el abandono de estas hipótesis básicas no afectará necesariamente por igual a ambos conjuntos de evaluaciones.

Intentar enumerar las múltiples y diferentes maneras en que el cambio de una hipótesis u otra alteraría nuestras cifras de costo, nos apartaría del objeto de este análisis, a saber, la evaluación del costo sobre la base que posee más general aplicabilidad. Por consiguiente, nos valdremos de hipótesis "generales", aunque dichas hipótesis serán inaplicables a muchos casos individuales. Cualquier investigador interesado en lo que concierne a una localidad particular debiera preguntarse si todas nuestras hipótesis se ajustan a las condiciones de tal localidad.

En particular, dos hipótesis pueden resultar inaplicables a muchas localidades. Estas son, en primer lugar, la hipótesis de que la planta tendrá una capacidad de 75.000 kilovatios y, en segundo lugar, que dicha central trabajará en promedio al 50 % de su capacidad. ¿Cuánto costaría la energía atómica comparada con la energía térmica ordinaria en localidades que requieran plantas de menos de 75.000 kilovatios o en aquellas otras que en promedio operen bastante por encima o bastante por debajo de aquél 50 %? Si dividimos el costo total en costos fijos y costos de explotación para la energía nuclear y para la energía térmica ordinaria, vemos que los costos fijos poseen una importancia bastante mayor

del costo que se presentan en el cap. II se prescinde de estos últimos partiendo de la base de que las plantas de energía atómica estarían tan bien localizadas con relación a los consumidores de energía como una central térmica ordinaria. Sin embargo, conforme señala Ward Davidson: "ningún ingeniero prudente colocaría una gran central de energía nuclear en el corazón de una gran ciudad hasta que algunos años de operación afortunada hayan probado su seguridad... La posibilidad siempre presente, por pequeña que sea, de que algo puede llegar a funcionar mal liberando grandes cantidades de material intensamente radioactivo, impondría su localización en áreas donde una falla tendría resultados menos desastrosos" ("Atomic Power and Fuel Supply", *op. cit.*, p. 13.) La Comisión de Energía Atómica ha investigado ampliamente los dispositivos de seguridad del reactor. Según ella, "la evaluación de los peligros potenciales de los reactores es una de las consideraciones primarias tocante a la localización y diseño de los reactores..." ("AEC Reactor Safeguard Committee to Visit United Kingdom", *bol. de prensa*, 31 agosto 1949, p. 1). Pero cuando la energía atómica sea comercialmente utilizable, los dispositivos de seguridad de los reactores tal vez hayan alcanzado un alto grado de perfección.

CUADRO 1. Costos totales de producción de energía nuclear en una planta de 75.000 kilovatios que funciona al 50 % de su capacidad.*

	Costo mínimo	Costo intermedio	Costo máximo
	(milésimos de dólar por KWH, precios de 1946)		
Costos fijos ^b	3.5	5.4	7.9
Combustible ^c	0.002-0.02	0.002-0.02	0.002-0.02
Costos de explotación (incluyendo trabajo, mantenimiento, reparaciones y materiales)	0.8 ^d	1.2-1.6 ^e	2.3 ^f
TOTAL:	4.0 ^g -4.3	6.6-7.0	10.2

* Este cuadro presenta, de manera simplificada, un resumen de la información sobre costos nucleares que se encuentra en los diferentes estudios mencionados en el texto. En ningún caso reproducimos las evaluaciones del costo hechas en los mismos; por el contrario, hemos intentado ajustar sus valores al marco conceptual que rige las comparaciones del costo que se harán en este informe. Como al ajustar las cifras conforme a nuestras necesidades a menudo nos hemos alejado de la presentación hecha por los autores de aquellas evaluaciones, sometimos en su día este capítulo a los mismos para su examen crítico, y hemos tomado en cuenta sus recomendaciones.

^b Inversiones mínima, intermedia y máxima por kilovatio antes indicadas multiplicadas por 11 % y divididas por 4.380 (50 % del número total de horas del año). Al aplicar el valor de la inversión del informe California a una central de 75.000 kilovatios, suponemos la centralización de los medios de tratamiento químico, es decir, que a dicha central se le asignaría solamente una parte de la inversión total correspondiente a una instalación química de dimensiones óptimas. Por otra parte, la inversión del informe Thomas incluye probablemente la inversión total en medios auxiliares químicos; si se supusiera que estos servicios son centralizados probablemente se reduciría con ello la evaluación máxima. En lo que se refiere al costo intermedio, sabemos que Menke supone centralizados dichos medios; los otros estudios del costo no especifican los supuestos acerca de este punto. (Es posible que consideren las evaluaciones tan burdas que la aceptación de una u otra hipótesis en cuanto a las instalaciones químicas produciría efectos insignificantes.)

^c Deducido de los costos de combustible antes indicados.

^d De acuerdo con el informe California.

^e El valor mayor es el promedio de las evaluaciones que para estos costos se indican en los informes California y Thomas. El menor se deduce suponiendo que estos costos guardan con los costos de igual clase en una central térmica ordinaria, la misma relación que la inversión supuesta por kilovatio de capacidad en la central nuclear guarda con la inversión en la central térmica ordinaria. (Tal supuesto, que empleamos a falta de una base firme para estimar los costos, se apoya en el hecho de que los gastos de mantenimiento de la planta y equipo constituyen una parte importante de los costos totales de esta clase. Suponemos, pues, que las instalaciones nucleares más costosas requerirán gastos de mantenimiento proporcionalmente más altos.)

^f Deducido del informe Thomas.

^g Mínimo conforme antes estimamos a partir de los costos de una planta térmica ordinaria, excluido el combustible.

en el caso de la planta nuclear. Así, por ejemplo, comparando el costo intermedio para energía nuclear con el mismo intervalo de costo para energía térmica ordinaria, tenemos (en milésimos de dólar por KWH y al 50 % de capacidad):

p. 44

	Energía nuclear	Energía térmica ordinaria
Costos fijos	5.4	3.3
Costos de explotación	1.2-1.6	3.3-3.7
TOTAL:	6.6-7.0	6.6-7.0

Esta comparación muestra que, a este nivel particular de costos totales, las cargas fijas absorben cerca de 50 % del costo total de la energía ordinaria y 80 % del costo de la energía nuclear. En consecuencia, cualquier cambio en las condiciones supuestas que incremente los costos fijos por unidad de producto en mayor proporción que los costos de explotación por unidad, conduciría a un mayor incremento en los costos nucleares que en los costos térmicos ordinarios; recíprocamente, un cambio que disminuya las cargas fijas por unidad de producto en mayor proporción que los costos de explotación por unidad, traería consigo una disminución mayor en los costos nucleares que en los costos térmicos ordinarios.

Es fácil ver cómo cambiaría la comparación de costos si se supusiera una distinta tasa de utilización de la capacidad. Si se estima que los costos de la energía nuclear y de la energía térmica ordinaria son iguales cuando se trabaja a un 50 % de capacidad, los costos nucleares serían casi con certeza más elevados que los costos térmicos si la planta opera, por ejemplo, 30 % de su capacidad, porque tal cambio aumentaría las cargas fijas por unidad de producto en mayor proporción que los costos unitarios de explotación. En cambio, casi con certeza, los costos nucleares serían menores que los costos térmicos ordinarios si se trabajase a un 80 % de capacidad, puesto que este cambio disminuiría las cargas fijas por unidad en un tanto por ciento mayor que aquél en que disminuirían los costos unitarios de explotación. El aumento y la disminución en los costos fijos por unidad es simplemente, claro está, el resultado de distribuir un valor constante de costo fijo entre un menor o mayor número de kilovatios-hora.⁷⁴

⁷⁴ En el análisis de los posibles efectos industriales de la energía atómica (caps. III-XII) suponemos casi siempre un factor de utilización de la capacidad superior al 50 %. Esto refleja el hecho de que la mayor parte de estas industrias originan una demanda casi continua e invariable de energía, de manera que utilizarán un kilovatio de capacidad cerca del 100 % del tiempo. (Véase cap. III, sección A, 5.)

Nuestras comparaciones del costo de la energía (cap. II) suponen siempre una tasa de utilización de 50 % porque es éste un promedio razonable para los sistemas eléctricos. Sin embargo, la capacidad adicional de las plantas nuevas en sistemas existentes es a menudo una excepción. Tales centrales se puede hacer que funcionen a un alto factor de utilización para sacar todo el partido posible de su mayor eficiencia, mientras que las plantas más antiguas se utilizan en las horas de máxima demanda. Dado que sería particularmente ventajoso utilizar las centrales de energía atómica de esta manera (a causa de la importancia de los costos fijos en sus costos), va-

Los posibles efectos que sobre nuestra comparación de costos entraña el suponer una central de tamaño inferior a 75.000 kilovatios dependerán de como varíe la inversión por kilovatio y los costos de operación a medida que disminuya el tamaño de la planta. La única información que poseemos acerca de este punto se refiere a centrales térmicas ordinarias y no es en modo alguno satisfactoria, porque ambos tipos de centrales son en más de un aspecto distintos. Tal información indica que a medida que el tamaño disminuye desde 75.000 hasta unos 20.000 kilovatios existe una tendencia a que la inversión en equipo por kilovatio instalado aumente en, por lo menos, 20 % en todo el intervalo. Por debajo de 20.000 kilovatios, y especialmente por debajo de 10.000, la inversión por unidad aumenta mucho más rápidamente. Los costos unitarios de explotación aumentan en estas condiciones en un porcentaje considerablemente menor a lo largo del intervalo. Aunque estos datos difícilmente pueden considerarse concluyentes, ni siquiera para centrales térmicas ordinarias, parecen indicar que si los costos nucleares y los costos térmicos ordinarios son iguales a 75.000 kilovatios y la magnitud de la planta baja es por ejemplo, 25.000 kilovatios, la energía nuclear sería en este último caso más costosa. Dada la poca seguridad de los datos, afirmamos esto, no como una conclusión, sino solo para mostrar cómo nuestras comparaciones pueden ser inaplicables, si la planta considerada es de un tamaño notablemente más pequeño.

Apéndice A: PROPORCIÓN DE COSTOS FIJOS

Nuestras comparaciones entre el costo de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria suponen la misma proporción de cargas fijas en ambos casos. Otros autores admiten una proporción mayor de dichas cargas en el caso de una central atómica que en el de una central térmica ordinaria, partiendo de la hipótesis de que el equipo de la central atómica se depreciaría y quedaría anticuado con mucha mayor rapidez que el de las plantas térmicas ordinarias.⁷⁵

En la contabilidad de costos de las compañías eléctricas se suele reunir, para simplificar, los cargos de depreciación y obsolescencia en una sola partida; al estimar la vida de una nueva planta se tiene en cuenta los

riesgos de los peritos que leyeron el borrador preliminar de este capítulo indicaron la conveniencia de utilizar un factor más elevado en nuestras comparaciones. Esto, claro está, hubiera favorecido a la energía atómica. Pero en buena parte de las regiones menos industrializadas comprendidas en nuestras comparaciones no podía alcanzarse un factor superior a 50 %, ni en las plantas nuevas mundiales del costo. En consecuencia, decidimos que nuestras comparaciones del costo "para fines generales" eran más seguras partiendo de un factor de utilización de 50 %.

⁷⁵ Walter Isard y John B. Lansing, "Comparisons of Power Cost for Atomic and Conventional Steam Stations", *The Review of Economics and Statistics*, vol. 31, agosto 1949.

efectos de una y otra. Sin embargo, cada una cubre una disminución futura del valor de la planta resultante de causas diferentes: la depreciación toma en cuenta el desgaste de la propiedad; la obsolescencia, los cambios tecnológicos que entrañan métodos de producción más económicos.⁷⁰ Hemos considerado los dos por separado para decidir si habría o no que cargar proporciones diferentes para ambos renglones en una central atómica y en una planta termoelectrónica ordinaria.

Las primeras plantas de energía atómica representarán la realización de un temprano proyecto en un nuevo campo. ¿Debemos admitir en este caso un mayor cargo por obsolescencia, partiendo del supuesto de que el valor de las primeras plantas disminuirá muy rápidamente con los futuros perfeccionamientos? Solo estaría justificada una proporción mayor por esta razón, en el extremo superior de costos que utilizamos en nuestros cálculos. Esto implica que el costo de producción de la energía atómica descenderá muy por debajo del costo representado en las evaluaciones basadas en los primeros diseños (es decir, el informe Thomas). Sin embargo, si se esperan reducciones substanciales del costo poco después de que las primeras centrales "de costo elevado" comiencen a funcionar, las estimaciones del costo de éstas tendrán una significación económica muy limitada.

El problema de la obsolescencia puede plantearse en términos más generales: ¿los costos atómicos manifestarían una persistente tendencia de larga duración a disminuir y esto traería consigo una tasa de obsolescencia para la energía atómica más elevada que la que es hoy normal en las centrales de energía corrientes? En este caso, quedarían afectadas tanto nuestra evaluación máxima del costo como la intermedia. Supongamos que una planta de energía nuclear y otra térmica ordinaria producen electricidad con el mismo costo total, figurando en ambas una misma tasa de obsolescencia. Si hubiera alguna razón para esperar que los perfeccionamientos técnicos reducirán en el futuro los costos atómicos hasta el punto que sea necesaria una mayor tasa de obsolescencia, ambos tipos de plantas se verían igualmente afectados; tanto si se construye uno u otro tipo de central la contabilidad de costos deberá tener en cuenta la disminución anticipada de los costos de la energía nuclear. En lo que concierne a la obsolescencia, es inadecuado, por consiguiente, utilizar una tasa diferente para las plantas de energía atómica y para las plantas ordinarias al comparar el costo de ambas.

Tal vez con el advenimiento de la energía atómica sea preciso aplicar a *ambos* tipos de plantas una tasa de obsolescencia superior a la habitual para las centrales térmicas ordinarias. No es posible prever claramente cómo afectaría esto a nuestras comparaciones del costo. De una parte, po-

⁷⁰ Véase, por ejemplo, Emery Troxel, *Economics of Public Utilities*, Nueva York, Rinehart and Co., 1947, pp. 353-356.

dría esperarse que la planta nuclear empeore en la comparación porque los costos de inversión en instalación y equipo son relativamente mayores que en las plantas térmicas ordinarias. Por otra parte puede preverse que las plantas nucleares podrían mantener el peso de los perfeccionamientos que se hubieran logrado en las técnicas de producción, reemplazando sólo aquella parte de sus instalaciones que fueron ya superadas. En las plantas térmicas ordinarias, en cambio, ha de preverse la sustitución del horno y la caldera por equipo nuclear ya que estas plantas no podrán incorporar las mejoras de los aparatos nucleares. En estas condiciones, es imposible decir a qué parte de la inversión en cada tipo de planta ha de aplicarse una mayor tasa de obsolescencia.

¿Debe suponerse una tasa diferente de depreciación para los dos tipos de plantas? ¿No entra en lo posible que la vida física del equipo nuclear típico, del reactor nuclear por lo menos, sea más corta que la del equipo al que substituye dadas las condiciones de intensa radiación bajo las cuales funcionarán? Dos importantes consideraciones para poder decidir el problema de la depreciación son: 1) las extraordinarias condiciones de funcionamiento del reactor nuclear se reflejan, en buena medida, en el aumento de los costos de mantenimiento. En nuestros cálculos intermedio y máximo se tuvo en cuenta este aumento, para cubrir la reconstrucción periódica de aquellas partes de la planta que se deterioran con más rapidez. 2) El costo de inversión en equipo nuclear especializado incluirá, evidentemente, una partida considerable para el inventario inicial de material fisionable. Conforme hemos visto, este material poseerá probablemente una vida perpetua en el sentido de que se reproducirá de forma continuada. Por consiguiente, es discutible que haya que incluir un costo de depreciación en cuanto a esta partida del costo de inversión.

Por todo esto hemos decidido que dentro del marco de nuestras comparaciones del costo y, a juzgar por la información disponible no estaría justificado aplicar tasas distintas de depreciación y obsolescencia a la planta nuclear y a la planta térmica ordinaria. Como además, no hay razón alguna para creer que la proporción correspondiente a otras partidas del costo fijo (impuestos, intereses, etc.) sean diferentes en los dos tipos de planta, utilizamos la misma proporción global al calcular los costos fijos para uno y otro.

Apéndice B: ALGUNAS CONSECUENCIAS ECONÓMICAS DEL CONTROL DE LA ENERGÍA ATÓMICA

La generación de cantidades apreciables de energía atómica traerá consigo la producción y uso de grandes cantidades de materiales fisionables de la misma clase, exactamente, que los utilizados en la bomba

atómica. Esto suscita consideraciones políticas de crítica importancia en cualquier programa para la producción de energía atómica útil. Bien con el control internacional de la producción y uso de la energía atómica, bien a través del control estatal ejercitado por cada nación, ello traerá consecuencias de importancia económica. Sin entrar en detalle, intentaremos apuntar algunas de ellas.

Si no existe acuerdo internacional alguno y cada nación desarrolla la energía atómica con independencia de las demás, como sucede en la actualidad, pueden producirse efectos de varios órdenes:

- a) Como los materiales fisionables y la energía son un producto conjunto del funcionamiento del reactor, la energía podría convertirse en una forma útil y distribuirse para fines comerciales. Esto podría hacerse a un precio más bajo que en otras condiciones a causa de la fuerte subvención militar del reactor (por ejemplo, a través de un precio muy elevado para el material fisionable).
- b) Por el contrario, no se produciría energía útil si las condiciones exigidas para la producción de la misma fueran incompatibles con la generación máxima de materiales fisionables para la bomba. Algunos de los especialistas que se han ocupado de este punto han sugerido que las dos operaciones pueden no ser del todo compatibles.⁷⁷
- c) O tal vez podría producirse energía útil, pero en menos cantidad que en otras condiciones, si los materiales fisionables se desvían constantemente hacia la manufactura de la bomba. Habría menos reactores (o reactores más pequeños) porque no se desearía empuñar demasiados materiales en reactores a fin de disponer de mayor cantidad en forma de componentes de la bomba. (Merece la pena hacer notar que existe aquí un problema incluso con relación a la pura producción militar de una cantidad dada de materiales fisionables, ¿cuánto debe transformarse en componentes de la bomba y cuánto debiera invertirse en nuevos reactores que, con el tiempo, producirían más material fisionable del que se ha invertido en ellos?).
- d) Podría producirse energía útil, pero en regiones elegidas por su relativa invulnerabilidad al ataque. Sólo por azar coincidirían los puntos elegidos conforme este criterio con los elegidos según consideraciones puramente económicas.

⁷⁷ Véase, por ejemplo, el análisis del cap. I, A. 2. a; Cf. también la declaración del Dr. Szilard según la cual "...los procedimientos más rápidos de producción de material fisionable no tienen necesariamente que ser aquéllos que permiten utilizar el calor para producir vapor". (Declaraciones ante el Comité de Energía Atómica del Senado de Estados Unidos, 79º Congreso, *op. cit.*, p. 270).

- e) Para la mayor parte de las naciones el ritmo de desarrollo de la energía atómica será probablemente mucho más lento que si pudieran aprovechar el fondo común de conocimientos técnicos y científicos, la ayuda financiera de todas las naciones y, particularmente, la contribución de Estados Unidos a una organización internacional para el progreso de la energía nuclear.

También el acuerdo sobre el control internacional de la energía atómica podría entrañar graves consecuencias económicas. El esquema de control elaborado con mayor riqueza de pormenores es el que presentó la Junta de Asesores al Comité del Secretario de Estado para la Energía Atómica, esquema al que nos referiremos como plan Acheson-Lilienthal,⁷⁸ y que constituyó la base de las propuestas sobre energía atómica sometidas a las Naciones Unidas por el representante norteamericano, Bernard Baruch, en junio de 1946. No es probable que se llegue a aceptar este plan. Sin embargo, es útil considerar las posibles consecuencias económicas del mismo como base para la discusión de otros planes encaminados a dicho control.

Una cláusula clave del plan Acheson-Lilienthal era aquella según la cual la energía atómica comercial se produciría en dos tipos de instalaciones: a) las que producen sustancias fisionables y b) las que no pueden producir sustancias fisionables. Aquéllas se consideraron peligrosas porque originan materiales que pueden utilizarse en la fabricación de bombas y por tal razón serían administradas internacionalmente; éstas fueron consideradas relativamente "seguras" y su dirección se dejaría en manos nacionales.⁷⁹ Las instalaciones "seguras" recibirían de las instalaciones regidas internacionalmente, todos los materiales fisionables que exigiera su funcionamiento.

Nótese, en primer lugar, que de acuerdo con esta medida el volumen de capacidad peligrosa (o primaria) fijaría la magnitud de la industria mundial de energía atómica, dado que los reactores peligrosos producirían el combustible requerido por los reactores seguros. Si, por consiguiente, existiese una medida cualquiera encaminada a limitar el volumen de capacidad primaria con objeto de reducir al mínimo el peligro de que los materiales se dediquen a otros fines o de que el país en que se encuentren las instalaciones de producción se apodere de ellos (peligro que existiría incluso bajo el plan de control propuesto), la producción

⁷⁸ *A Report on the International Control of Atomic Energy*, House Document Nº 709, 79º Congreso, 2ª sesión, publicación 2498 del Departamento de Estado, Washington, Gov. Printing Of. 16 marzo 1946.

⁷⁹ La relativa seguridad del último tipo de instalación es aún mayor en el plan Acheson-Lilienthal por la cláusula que impone el uso como combustible de sustancias fisionables "desnaturalizadas", es decir, de material fisionable que por mezcla con un isótopo inerte de la misma sustancia se ha convertido en relativamente ineficaz para la producción de bombas atómicas.

de energía atómica podría ser menor de lo que sería en otras condiciones.

La forma en que estas consideraciones limitarían la magnitud de la industria mundial de energía atómica dependería de la manera en que funcionase dicho plan de control —en el supuesto de que llegara a ser adoptado—. Pero el plan se caracteriza además por lo que podría denominarse una restricción “intrínseca” en cuanto a la magnitud de la industria nuclear. Es decir, como medida de seguridad se impediría que produjeran materiales fisionables reactores que, en sí, serían capaces de producirlos. Con ello la capacidad de crecimiento de la industria de energía atómica se vería gravemente limitada, ya que faltaría el material fisionable necesario para la carga inicial de combustible en los nuevos reactores. Sin embargo, no constituye esto un inconveniente característico del plan de control ya que de no haber control internacional surgiría también una limitación análoga, conforme hemos visto, por dedicarse el material fisionable a la fabricación de bombas.

La importancia de la restricción comprendida en el plan de control en cuestión, vendría determinada en gran medida por la magnitud relativa de la capacidad de los reactores nucleares seguros y peligrosos. De haber relativamente pocos reactores seguros (esto es, reactores que no producen materiales fisionables) los efectos restrictivos sobre el crecimiento de la industria de energía atómica podrían no ser serios. Pero al contar con una capacidad segura, muy pequeña comparada con la capacidad peligrosa, se echaría por tierra uno de los objetivos principales del plan. Los autores del plan Acheson-Lilienthal esperaban, en realidad, tener una distribución casi igual de capacidad de energía nuclear entre reactores seguros y peligrosos.⁸⁰ Si la capacidad de ambos tipos de reactores nucleares fuese aproximadamente igual, el suministro adecuado de material fisionable para los reactores destinados a la producción de energía podría constituir un difícil problema, y tal vez fuera difícil, no sólo producir material fisionable suficiente para la construcción de nuevos reactores, sino también, simplemente lograr una producción que bastase para satisfacer las necesidades de los reactores existentes.

Conforme ya explicamos, en nuestro análisis hemos supuesto que los reactores producirán, en el curso de su funcionamiento, por lo menos la cantidad de nuevos materiales fisionables requerida para reemplazar el material consumido en la producción de energía. En realidad, suponemos que pueden rendir algo más de la cantidad necesaria para conservar a un mismo nivel sus propios stocks de material fisionable (de acuerdo con una de las evaluaciones, posiblemente un 10 % más) y ese sobrante podría utilizarse para formar nueva capacidad en reactores. Esta hipótesis básica sostenía a su vez otra hipótesis de importancia crítica en los

⁸⁰ *Ibid.*, pp. 28-29.

de los costos: que el suministro continuado de combustible del grupo reactor se compondría de uranio natural o torio, los cuales son extraordinariamente baratos por unidad de energía producida.

Pero supongamos ahora que las capacidades de los reactores seguros y peligrosos son iguales y que la capacidad peligrosa produce sólo 1.1 unidades de material fisionable cada vez que quema una unidad. En este caso, los reactores seguros quemarían tanto material fisionable como los peligrosos, puesto que producirían igual cantidad de energía. Por consiguiente, cada vez que se consumieran, por ejemplo, dos libras de material fisionable (1 lb. en el reactor seguro y 1 lb. en el peligroso) se producirían tan sólo 1.1 lb. precisamente en el reactor peligroso. De ahí no sigue que los reactores nucleares necesitarían recibir continuamente material fisionable adicional para mantenerse en funcionamiento a razón de 0.9 lb. por cada 2 lbs. quemadas. El equilibrio solo podría alcanzarse si existiesen medios para producir material fisionable fuera de la industria nuclear. Aunque con instalaciones para la separación del isótopo U-235 o para la producción de plutonio a partir del uranio natural (tal como las de Oak Ridge o Hanford) podría cubrirse el déficit, los costos de producción de energía nuclear tal vez serían considerablemente superiores a los que hemos estimado.

Este ejemplo se basa en hipótesis dudosas y no hay que ver en él un pronóstico de lo que ocurriría si se adoptase un plan parecido al Acheson-Lilienthal. Así, nuestro ejemplo se basa en una tasa de generación de 10 % en los reactores peligrosos. Este rendimiento es precisamente la base para objetar la posibilidad de que se construya tan sólo la capacidad segura que pudiera satisfacerse con los materiales fisionables producidos en los reactores peligrosos por encima de sus propias necesidades; en efecto, en estas circunstancias dicha capacidad constituiría sólo alrededor de 10 % de la capacidad peligrosa y una proporción tan desigual anularía casi los objetivos del plan de control. Pero en modo alguno puede afirmarse de antemano que esa será la tasa de generación de material fisionable. Si fuera mayor —por ejemplo, alrededor de 30 %— la capacidad segura basada en materiales fisionables sobrantes producidos en los reactores peligrosos constituiría un 30 % de la capacidad peligrosa. No es probable que sobre esta sola base pueda mantenerse la igualdad entre las capacidades segura y peligrosa, ya que ello requeriría una tasa de generación de 100 % (esto es, que por cada libra de plutonio consumido se produzcan 2 lbs.), lo cual rebasa la tasa supuesta en los trabajos publicados.⁸¹ Pero con un rendimiento de cerca de 30 % —jun-

⁸¹ El factor crítico es aquí el número de neutrones emitidos durante la fisión en exceso de los necesarios para propagar la reacción en cadena. Irvine, afirma (*op. cit.*, p. 364) que “el número de neutrones liberados en la fisión en exceso del que es necesario para mantener la reacción en cadena es aproximadamente 1.3 por

to con la posibilidad de que en ciertos reactores baste utilizar uranio natural— el volumen de capacidad segura podría llegar a constituir un porcentaje de la capacidad peligrosa¹ lo bastante alto (aunque no por fuerza igual) para satisfacer los objetivos del plan de control, sin que aumenten grandemente los costos de explotación por la necesidad de emplear el costoso material fisionable producido fuera de la industria de energía nuclear.

fisión". Esto está de acuerdo con los cálculos de L. Szilard y W. H. Zinn, en "Emission of Neutrons by Uranium", *Physical Review*, vol. 56. 1º octubre 1939, p. 619.

II. EL COSTO DE LA ELECTRICIDAD GENERADA EN PLANTAS ORDINARIAS.

El objeto principal de este capítulo es mostrar cuál es el costo de producir energía eléctrica en distintos puntos del Globo obtenida en fuentes convencionales de generación. Es sabido que los costos varían grandemente de una región a otra según sean los recursos energéticos locales, si los hay, y según la distancia a que hay que transportar los combustibles cuando no se dispone de ellos localmente. En otras palabras, se trata de mostrar de un modo sistemático esas diferencias de región a región en el costo de electricidad generada con fuentes convencionales, en relación al costo de la generada con el calor producido en la fisión nuclear.

Estos cálculos se limitan a la energía eléctrica, pero no hay que olvidar que la electricidad representa sólo una pequeña parte de la utilización total de energía. Por ejemplo, en 1947 la producción de electricidad en Estados Unidos representó sólo 15 % aproximadamente del total de energía consumida. Por tanto, si nuestras evaluaciones indicasen que la electricidad atómica podría ser más barata que la procedente de fuentes ordinarias en una región particular, esto sólo significaría que una parte de las necesidades totales de energía de aquella región podría satisfacerse a un costo más bajo por medio de la energía atómica. Se plantea con esto la cuestión de si la energía atómica podrá llegar a ser lo bastante barata para ser utilizada para aquellos fines —que representan una gran parte del consumo total de energía— respecto a los que la electricidad actualmente no resulta económica. Consideraremos esta cuestión en capítulos posteriores. En ellos analizamos la posibilidad de usar energía generada mediante la fisión nuclear para aquellas operaciones tales como la reducción del mineral de hierro, el transporte ferroviario, la calefacción residencial, la fusión del vidrio, y otras en las que la electricidad no puede competir con otras formas de energía, dadas las técnicas del día y las relaciones de precio existentes entre las diferentes fuentes de energía.

El mapa 1 presenta nuestra estimación del costo de la electricidad generada con fuentes ordinarias. Estas evaluaciones del costo se comprenderán mejor al examinar el esquema mundial de recursos energéticos disponibles. Por esta causa, hemos incluido también un mapa mundial de localización de recursos de carbón y petróleo (mapa 3) y otro mapa mundial en el que se indica la ubicación de los recursos hidroeléctricos (mapa 2). Al hacer uso de estos mapas conviene relacionarlos con el mapa que indica la distribución de la población mundial (mapa 4).¹

¹ Ha sido posible reproducir este mapa gracias a la amable autorización de Clarence B. Odell, de la División de Geografía y Cartografía del Departamento

El presente capítulo se divide en dos secciones principales. En la primera se analizan los datos, conceptos, objetos y métodos que constituyen la base de las evaluaciones del costo y se resume la información contenida en el mapa 1. En la segunda parte se analizan ciertos factores económicos de importancia para la comparación entre energía atómica y energía ordinaria, que no se estudiaron en el precedente análisis de costos.

A) MAPA MUNDIAL DE COSTOS DE LA ELECTRICIDAD

El mapa 1 ha sido trazado sólo con el fin de comparar los costos de la electricidad producida con combustibles minerales y energía hidráulica con los costos estimados de la energía atómica. Las cifras que en él se indican no se pueden interpretar adecuadamente a menos que se entienda el objeto del cálculo y los conceptos que le sirven de fundamento.

1. Carácter de los valores del costo

a) LA PLANTA TERMOELÉCTRICA HIPOTÉTICA. Todos los costos indicados para la electricidad térmica, esto es, la energía generada mediante combustibles ordinarios, son costos estimados, no reales. La estimación se refiere a cuál sería el costo de generar electricidad en la región de que se trate si se produjese en una planta de 75.000 a 100.000 kilovatios de capacidad, del modelo más moderno y operando a un factor medio de 50 % de su capacidad. En todos nuestros cálculos, mantenemos constantes el costo de construcción de la planta, sus características de funcionamiento y todos los costos de explotación, salvo el costo del combustible. Por consiguiente, las variaciones en los costos estimados de la energía termoeléctrica señaladas en el mapa proceden sólo de diferencias en el costo del combustible en distintas regiones. Se trata, en definitiva, de comparar la energía atómica, no con plantas eléctricas existentes, anticuadas y posiblemente ineficientes, sino con lo mejor que puede suministrar la tecnología moderna.

Los costos que mantenemos constantes para la planta hipotética considerada en las evaluaciones del costo térmico son (a precios de 1946, para que sean comparables con las estimaciones del costo atómico):²

de Estado de E. U. Como las ciudades se representan en el mapa mediante esferas cuyo volumen es proporcional a la población metropolitana, el sombreado de las áreas rurales y urbanas es un tanto exagerado en relación con las áreas metropolitanas.

² Para fijar las características de costo y explotación de la planta hipotética de energía térmica se consultaron diversas fuentes, incluso la consulta directa con ingenieros especializados en plantas eléctricas.

El costo de inversión de Dls. 130 por kilovatio de capacidad es un valor empírico razonable para los costos vigentes en 1946. No hay que perder de vista, sin

- 1) Costos fijos de 3,3 milésimos de dólar por KWH. Estas cargas fijas se basan en:
 - a. Inversión en instalación y equipo a razón de Dls. 130 por kilovatio de capacidad.
 - b. Cargas fijas de la inversión a razón de 11 % anual.
- 2) Costos de explotación, excluido el combustible, a 0,7 milésimos por KWH.

Cada una de las cifras de costo térmico que se indican en el mapa contiene, por lo tanto, un cargo de 4 milésimos de dólar por KWH para todos los costos de producción, salvo el combustible. Para obtener el valor total, añadimos el costo del combustible sobre la base de un rendimiento térmico supuesto de 34 % en la conversión de la energía conte-

embargo, que los costos reales por kilovatio de una planta eléctrica construida en dicho año variaría considerablemente según fueran las condiciones de construcción, el clima, el tipo y el costo del combustible, el espacio requerido para almacenar carbón, etc. Aunque en un sólo valor de inversión por kilovatio se dejan fuera todas estas diferencias y no debe, por tanto, tomarse literalmente en lo que atañe a los costos en un lugar determinado, es útil en una investigación general como la nuestra, que principalmente se ocupa de medir los efectos de las variaciones de los costos del combustible. (Haremos notar que un costo de alrededor de Dls. 130 concuerda aproximadamente con la inversión en plantas térmicas citada en otros estudios. Véase, por ejemplo, "Atomic Energy, Its Future in Power Production", *op. cit.*; Thomas, "Nuclear Power", *op. cit.*; Davidson, "Nuclear Energy for Power Production", *op. cit.*, p. 6; Philip Sporn, Discusión sobre la energía atómica, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 37, mayo 1947, p. 113; e Isard y Lansing, *op. cit.*, nota 12).

La proporción adecuada de cargas fijas en las plantas termoeléctricas ha sido objeto de muchas discusiones. La proporción global para plantas térmicas financiadas con capital privado se estima generalmente entre 12 y 15 %. Sin embargo, con ello se toma en cuenta un tipo de interés más elevado que el vigente en los empréstitos gubernamentales. Como es razonable suponer que éstos se efectuarían al tipo del 3 % para la planta de energía atómica, decidimos utilizar el mismo tipo de interés para la de energía térmica sólo por razones de comparación. De los otros elementos del total, hemos supuesto el 4 % por depreciación y obsolescencia y el 4 % por impuestos, seguro y gastos generales y de administración. (Véase "Cost of Energy Generation, Second Symposium on Power Costs" en los *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 64, abril 1938, parte 1ª, en particular los trabajos presentados por W. F. Uhl, John C. Page, C. F. Hirshfeld y R. M. Van Buzar, Jr., y Ezra B. Whitman. Para una proporción global más o menos comparable con la nuestra, véase Isard y Lansing, *op. cit.*, [después de substituir el tipo menor de interés en empréstitos gubernamentales], y Menke, *op. cit.*)

Los costos de explotación, exceptuando el combustible, están basados principalmente en datos de A. E. Knowlton, "Fourth Steam Station Cost Survey", *Electrical World*, vol. 112, 2 diciembre 1939, reajustados para el cambio de precios ocurrido entre el período anterior a la guerra y 1946.

Un rendimiento térmico de 10.000 BTU por KWH equivale a unos ¾ de libra de carbón bituminoso de calidad estándar por KWH generado. En la práctica, en 1947 las plantas térmicas de Estados Unidos, necesitaron en promedio 1,31 libras de carbón por KWH. El rendimiento térmico que hemos supuesto es aproximadamente igual al de la planta de vapor más eficiente de Estados Unidos (Philip Sporn, *op. cit.*, p. 113).

nida en el combustible en energía eléctrica (es decir, 10.000 unidades térmicas británicas (BTU) de calor por KWH de energía eléctrica producido). Así, por ejemplo, cuando para producir energía se utiliza carbón bituminoso norteamericano estándar, que contiene 26.200.000 BTU por tonelada corta, el procedimiento seguido en la estimación daría los costos de electricidad indicados en el cuadro 2 para carbón de diferentes costos. Se podría ampliar dicho cuadro para que además del carbón comprendieran otros combustibles a precios más elevados.

Creemos que los factores de costo que acabamos de exponer están de acuerdo con las prácticas más avanzadas de la ingeniería norteamericana. Pero debe quedar bien entendido que hemos usado estos valores para estimar el costo en muy distintas regiones del globo. Cabe concebir que para alguna de ellas el costo estimado resultante, que quiere indicar el más bajo costo posible y generar energía térmica en dichas áreas, puede ser algo más elevado que el costo real de una planta moderna de la región. Puede surgir este tipo de error, especialmente cuando la inversión por kilovatio pueda ser algo menor de haberse supuesto una central de energía de rendimiento térmico más bajo. El objetivo que se persigue en cualquier caso al construir una planta eléctrica, es, claro está, reducir al mínimo los costos totales, de suerte que, donde el combustible es muy barato, podría resultar económico sacrificar eficiencia térmica para ahorrar costos fijos. Por nuestra parte, hemos decidido suponer el máximo rendimiento térmico en la planta hipotética porque el costo del combustible, en la mayoría de las regiones del mundo —y con certeza en aquellas en las que la energía atómica podría entrar en competencia—, es tal que los costos totales de producción probablemente se reducen al mínimo en una planta de eficiencia térmica elevada.

CUADRO 2. Costo de la electricidad en función del costo del carbón según el método de evaluación utilizado en el mapa 1.

Costo del carbón (en dólares por tonelada corta que contenga 26.200.000 BTU)	Costo de genera- ción exceptuando el combustible (milé- simos de dólar por KWH y factor de utilización de 50 % de la capacidad)	Costo de 10.000 BTU de combustible (en milésimos)*	Costo total de generación (milési- mos de dólar por KWH y factor de utilización de 50 % de la capacidad)
2	4	0,8	4,8
4	4	1,5	5,5
6	4	2,3	6,3
8	4	3,0	7,0
10	4	3,8	7,8

* Cifras aproximadas.

Una de las limitaciones que afectan a nuestros cálculos es que la eficiencia térmica depende de la inversión en la planta. (Más adelante nos ocuparemos de otra limitación inherente a la conversión de las monedas extranjeras en dólares norteamericanos). Estas evaluaciones representan sólo una aproximación a la situación real que puede prevalecer en el futuro en cuanto a la competencia entre energía atómica y energía ordinaria en una localidad cualquiera.

b) COSTO DEL COMBUSTIBLE. Como nuestras evaluaciones del costo de la energía atómica se expresan a precios de 1946, hemos procurado siempre que ha sido posible, indicar también nuestras estimaciones del costo de la energía obtenida con fuentes usuales a los precios de dicho año. Así, la inversión por kilovatio y los costos de explotación supuestos (aparte del combustible) figuran a precios de 1946. Por tanto, los costos del combustible que entran en nuestra evaluación del costo de la electricidad deben también en principio, ser del año 1946.

Sin embargo, al realizar nuestra investigación de los costos fué difícil encontrar los precios del combustible correspondientes a 1946 respecto de muchas de las regiones que nos interesaba incluir en nuestro examen. Además, aun cuando se pudo disponer de ellos, fué difícil interpretar dichos precios de manera adecuada. Muchas de las regiones carboníferas del mundo se vieron seriamente afectadas por la guerra y sus consecuencias. Los conductos normales del comercio carbonífero quedaron interrumpidos y naciones tales como Alemania e Inglaterra que antes habían exportado grandes cantidades de carbón fueron apenas capaces de satisfacer sus propias necesidades. En estos y en otros países de Europa fué difícil reunir el número de mineros necesarios, ni pudo tampoco disponer de la maquinaria de extracción y de otro tipo. Por lo tanto, el precio del carbón alcanzó valores inusitados en la mayor parte del mundo. También el precio del petróleo aumentó como respuesta a la escasez general de combustibles.

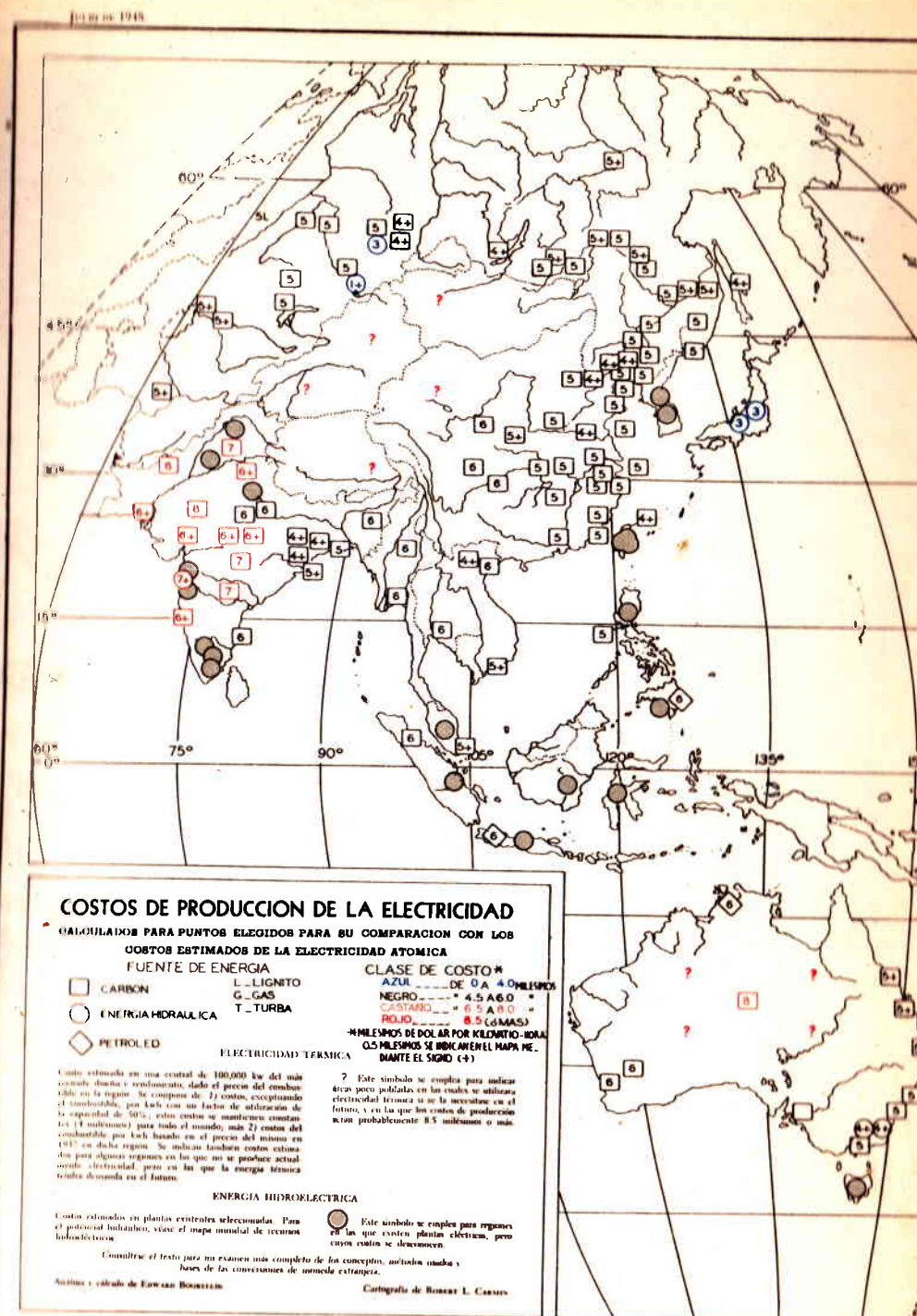
Este aumento del precio del carbón en 1946 tal vez represente, hasta cierto punto, dificultades básicas de la industria del carbón que empezaron a manifestarse en la postguerra, de lo cual existen buenas pruebas en Inglaterra; pero nos pareció que, en definitiva, la escasez mundial de combustibles disminuiría y que los precios vigentes en 1946 en la mayor parte del globo eran probablemente más altos de lo que serían normalmente en relación con el nivel general de precios. Decidimos, en consecuencia, no utilizar dichos precios, sino los de la década anterior a la guerra. Por regla general, estos costos son los del año 1937, un año de condiciones relativamente normales en la producción y comercio internacionales de combustibles.

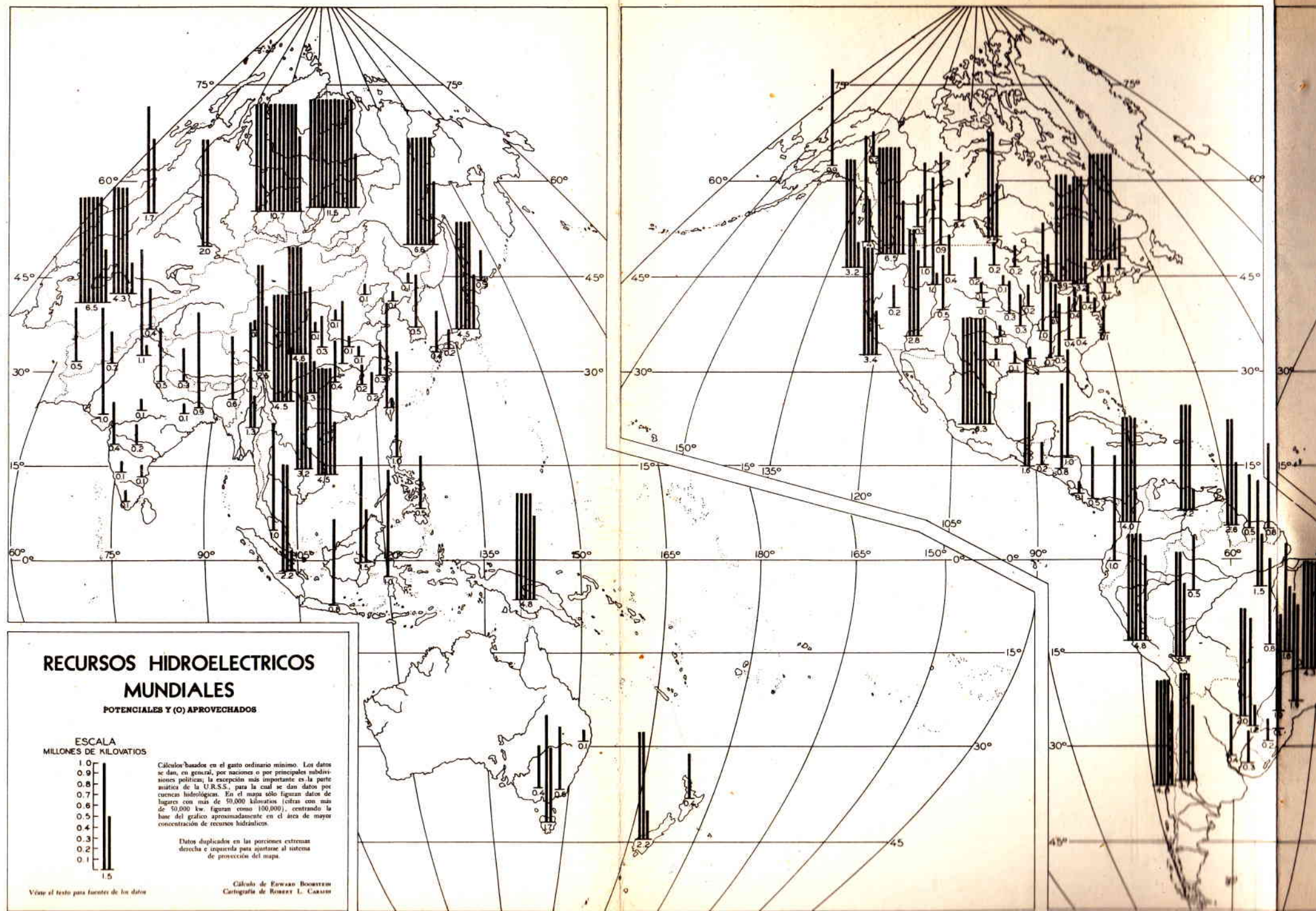
Al decidimos a utilizar tales costos de preguerra hicimos la mejor

selección posible de un conjunto uniforme de precios mundiales de los combustibles, pero aun así nos encontramos ante el problema de la comparabilidad entre nuestras evaluaciones de los costos atómicos y de la energía ordinaria. Entre el período de preguerra y 1946 los precios experimentaron una subida general y las cifras que damos para el costo de la electricidad procedente de fuentes atómicas (y para la parte del costo de la electricidad obtenida con fuentes ordinarias, excluido el combustible) se basan en los precios más elevados de 1946. Los componentes principales de estas cifras son: equipo de la central productora de energía, construcción general, y medios auxiliares químicos y demás equipo especializado para la planta atómica. Al no tomar en consideración los incrementos en el precio del combustible después de 1937, nuestras comparaciones se desvían en favor de las fuentes ordinarias de generación. Más adelante tendremos en cuenta este hecho apoyándonos en datos válidos para Estados Unidos, donde creemos que los precios del combustible en 1946 no eran, en general, desproporcionados en comparación con el nivel general de precios y, en particular, con el costo de la construcción.

c) **COSTOS DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA.** Como hemos visto, los costos de la electricidad térmica que se indican en el mapa 1 se han calculado según un método de evaluación uniforme que, por regla general, permite asegurar que son los costos más bajos posibles para la electricidad térmica en la región considerada. Las cifras relativas al costo hidroeléctrico que se señalan en dicho mapa son, por otra parte, costos efectivos de producción en centrales hidroeléctricas existentes, independientemente de cuándo se hayan construido las instalaciones en cuestión o de cuáles sean las condiciones en que operan (por ejemplo, el factor de utilización de la capacidad y la proporción de cargas fijas son generalmente las que en realidad existen en la planta en cuestión; además, no se ha tomado en cuenta el hecho de que la energía hidroeléctrica a menudo tiene que transmitirse a distancias mayores que la energía térmica, debido a la menor flexibilidad en la elección del punto en que se localiza la planta hidroeléctrica).

El mapa contiene relativamente pocos valores del costo hidroeléctrico, muchos menos, como veremos, que lo que estaría justificado dadas las cantidades relativas de electricidad producida en todo el mundo mediante generación hidráulica. La razón estriba, simplemente, en que los valores reales del costo para las centrales hidroeléctricas existentes no son fácilmente obtenibles. En el caso de las centrales termoeléctricas, se supuso una planta de alto rendimiento, cualquiera que fuese la región; se consideró en todo caso posible la substitución de una planta cualquiera anticuada por una moderna. Con esto, las diferencias geográficas en el costo de la electricidad quedaron reducidas a diferencias en el costo del





combustible. Pero en el caso de la energía hidroeléctrica, el costo de construcción de la planta depende de condiciones ligadas a la geografía física y constituye el elemento más importante de las diferencias de costo entre distintas regiones. Por esto, los costos reales de las instalaciones existentes o los cálculos especiales para las instalaciones proyectadas son los únicos valores útiles.

Existe otra diferencia importante: si bien nuestras evaluaciones del costo de la electricidad térmica pretenden representar el costo a que podría operar una planta termoeléctrica moderna comparada con una planta atómica y para una región cualquiera, los valores relativos a la electricidad de origen hidráulico, por otra parte, no representan necesariamente los costos de una instalación que pueda construirse en el futuro. Los costos hidroeléctricos se refieren siempre a aprovechamientos hidroeléctricos ya en explotación, pero cabe preguntarse si en verdad existen otros con tan buenas condiciones naturales, no explotadas todavía. Además, los costos en las instalaciones hidroeléctricas existentes, que casi por entero consisten en cargas fijas, reflejan los costos de construcción en tiempos pasados. Por lo tanto, incluso si suponemos que las condiciones naturales de las caídas no explotadas en una región particular no son peores que las de aquellas ya explotadas, los costos en los lugares ya aprovechados no serían propiamente comparables con nuestros cálculos del costo atómico que se basa en costos de construcción de 1946. Este último problema es análogo al de los costos del combustible que ya hemos mencionado.

d) LA CONVERSIÓN DE MONEDA EXTRANJERA. Como el costo de la energía atómica se ha estimado sólo para Estados Unidos y no para otros países, ¿cómo es posible efectuar comparaciones internacionales de los costos de la electricidad atómica y ordinaria? Para un país extranjero cualquiera, por ejemplo Francia, nuestras comparaciones del costo son como sigue:

Costo de la energía atómica (constituido principalmente por costos fijos de la inversión): estimados para E. U., a precios norteamericanos.

Costo de la energía termoeléctrica (mapa 1)
a) Cargos fijos sobre la inversión: estimados para E. U., a precios norteamericanos.
b) Precio del combustible: en precios franceses convertidos a precios norteamericanos al cambio de antes de la guerra.³

Costo de la energía hidroeléctrica [mapa 1]. (Constituido principalmente por cargas fijas sobre la inversión): dado en precios franceses convertidos a precios norteamericanos al cambio de antes de la guerra.

³ Para casi todos los países se ha utilizado el tipo medio de cambio en 1937.

Aunque es esta la forma en que de hecho se presentan las comparaciones en este informe, también se hubieran podido presentar en la siguiente forma, sin cambiar por ello las relaciones indicadas entre los costos de las diferentes clases de electricidad (con tal que se utilizase el mismo tipo de cambio):

Costo de la energía atómica en precios norteamericanos convertidos a precios franceses.

Costo de la energía eléctrica térmica.

a) Cargos fijos sobre la inversión, en precios norteamericanos convertidos a precios franceses.
b) Precio del combustible en precios franceses.

Costo de la energía hidroeléctrica a precios franceses.

Nos hubiera gustado expresar todas nuestras comparaciones en esta segunda forma, pero ello habría originado serias dificultades de exposición porque sería necesario indicar los precios en diferentes unidades monetarias en el mapa. Por esta causa hemos expresado dicha relación de acuerdo con la formulación primera y todos los datos se dan a precios norteamericanos. Pero las condiciones que debe satisfacer un factor adecuado de conversión de divisas se pueden ver más claramente examinando la segunda forma de comparación. Veamos, pues, partiendo de esta base, las conversiones de precios y su significado.

Los costos del combustible y de la energía hidroeléctrica se expresan a los precios realmente vigentes en Francia para estos artículos. El problema consiste entonces en convertir el costo fijo de inversión en plantas térmicas y los costos estimados de la energía atómica en precios franceses que reflejan su costo relativo en Francia comparado con los costos de aquellos artículos indicados ya en precios franceses.

Apliquemos el mismo factor de conversión a los costos fijos de la energía termoeléctrica y a los costos totales de la energía atómica (constituídos principalmente por cargas fijas sobre la inversión), ambos han sido estimados sólo para Estados Unidos. Suponemos con esto que la *relación* entre la inversión en energía atómica y en energía ordinaria estimada para Estados Unidos será también aplicable a Francia y a los demás países. Como no sabemos cuánto costará en Francia, o en cualquier otro país, una planta de energía atómica por kilovatio de capacidad, tomamos el costo por kilovatio térmico instalado, ajustándolo de acuerdo con lo que hoy se sabe (o se estima) acerca de la relación entre la inversión requerida en Estados Unidos en planta atómicas y en plantas ordinarias, para encontrar así el costo de la planta atómica en el país de que se trate. Es justo este procedimiento porque casi cualquier factor que

afecta el costo de construcción de una planta termoeléctrica moderna afectaría también el correspondiente a una planta atómica, ya que los elementos más importantes del costo son los mismos en ambos casos: trabajo de construcción, dirección y planeación, materiales de construcción, generadores y accesorios eléctricos. A decir verdad, los demás factores del costo, a saber, los aparatos para producir calor, para el tratamiento previo del combustible y para la utilización o separación de los residuos, son en ambos casos muy diferentes desde el punto de vista técnico. Sin embargo, no es probable que las causas económicas que determinarán variaciones geográficas en el costo de construcción de las instalaciones (principalmente el costo del trabajo calificado, manual y otros) sea lo bastante diferente para afectar de manera marcada la relación entre los costos totales de construcción de los dos tipos de plantas por kilovatio de capacidad.⁴

Quedan todavía por resolver dos cuestiones: de una parte, si es lícito emplear el tipo de cambio para convertir el costo norteamericano de construcción de una planta térmica moderna en costos extranjeros, al que se le sumará el precio extranjero del combustible después de reducir ambos costos a una base KWH; y, de otra parte, cómo traducir la evaluación norteamericana del costo de la energía atómica en el correspondiente del extranjero. Para este objeto, el tipo de cambio debiera reflejar la proporción entre el costo de construcción y equipo por kilovatio de capacidad instalado en una planta termoeléctrica en Francia (o en cualquier otro país) y el costo correspondiente en Estados Unidos. Según esto, el tipo de cambio serviría muy bien para nuestro propósito en aquellos países que compran o venden al extranjero equipo eléctrico. Además, en algunos casos —Francia, Gran Bretaña y la Unión Soviética (de la que hablaremos luego)— en los que el costo de construcción de una planta eléctrica nos era conocido comprobamos que el tipo de cambio reflejaba efectivamente la razón de costo adecuada.⁵ Para otros países nos faltó

⁴ Todo este análisis se efectúa en función del costo de inversión por kilovatio de capacidad. Al reducir este costo a una base kilovatio-hora, aplicamos un coeficiente de costos fijos deducidos de datos norteamericanos. En otra sección de este capítulo (cf. pp. 95-96) se verá si este coeficiente debe o no aplicarse para el cálculo de los costos en todos los países extranjeros.

⁵ Para que el tipo de cambio refleje la proporción exacta de costos, sería preciso que el costo de construcción y equipo por kilovatio de capacidad instalada en plantas térmicas idénticas fuera igual en los distintos países. Según indicamos (nota 1), los costos de construcción varían entre diferentes plantas eléctricas de acuerdo con las circunstancias de la localidad particular en que se instalan; por lo tanto, es difícil encontrar valores del costo para diferentes países que se reflejen exactamente a las mismas condiciones. Lo más que podemos hacer en tal caso para otro país es conseguir un costo aproximado que corresponda a evaluaciones similares utilizadas por los ingenieros norteamericanos, o bien un costo promedio de construcción de la planta eléctrica, y comparar las proporciones resultantes de costos entre Es-

esa información. Por consiguiente, la conversión de costos efectuada con base en el tipo de cambio tiende a introducir un error en el caso de países que no importan ni exportan equipo para plantas eléctricas, salvo en cuanto a los tres antes citados.

De todas maneras, para tales países esa tendencia errónea afectaría en el mismo sentido, a ambos términos de la comparación entre costos de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria, aunque (a causa del costo del combustible en la energía eléctrica ordinaria) no en la misma proporción.

tados Unidos y otros países con sus tipos de cambio. Esto es lo que se hizo para Gran Bretaña, Francia y la U.R.S.S.

Los costos de preguerra en plantas térmicas de Estados Unidos oscilaban por lo general entre Dls. 75 y Dls. 115 por kilovatio de capacidad; el costo usual en ingeniería para este período era de unos Dls. 100 por kilovatio (véase, por ejemplo, John Bauer y Nathaniel Gold, *The Electric Power Industry*, Nueva York, Harper, 1939, p. 65; George A. Orrok "Progress in the Generation of Energy by Heat Engines", *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 63, diciembre 1937, pp. 1887-1888; y Hirshfeld y Van Duzer, *op. cit.*, p. 658).

Los costos citados para Francia y Gran Bretaña que revelan que los tipos de cambio reflejan las razones de costo adecuadas entre sus costos de inversión y las cifras norteamericanas de costo que acabamos de indicar, se encuentran en dos artículos presentados en la Tercera Conferencia Mundial de Energía: Ernest Mercier "National Power and Resources Policies", (*Transactions*, vol. IX, Washington, G.P.O., 1938, p. 98) y Harold Hobson "Integration of Electric Utilities in Great Britain", (*Transactions*, vol. VII, p. 626). El valor señalado para Francia —1.600 francos por kilovatio— es el costo estimado de construcción de una planta eléctrica, en aquel entonces moderna, por kilovatio de potencia instalada: el correspondiente a Inglaterra no se da directamente, sino que se dedujo de los cargos fijos señalados en un desglose de los costos medios de producción en todas las plantas generadoras para consumo público en Gran Bretaña en 1934-1935. Este último valor, aunque deducido indirectamente y basado en parte en los costos de construcción correspondientes a períodos más antiguos, confirma que el tipo de cambio refleja de manera adecuada la proporción entre el nivel de inversión por kilovatio de capacidad en Gran Bretaña y en Estados Unidos. Cabe hacer notar que en el caso de Francia la proporción adecuada de costos correspondía mejor al cambio de 1936, anterior a la desvalorización, que al de 1937 que le siguió.

He aquí cómo explica el Prof. Metzler el uso de los tipos de cambio de preguerra: "Para la mayor parte de los países, el período elegido como base de preguerra fué el período de nueve meses que va de octubre de 1936 a junio de 1937... El período base es el de relativa estabilidad cambiaria que siguió al Pacto Tripartito entre Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia. Se considera que los tipos de cambio que entonces regían son tipos más o menos normales de preguerra, pero es probable que en la inestable situación económica internacional que existió antes de la guerra no haya un sólo período que se pueda considerar completamente normal y equilibrado." (Lloyd A. Metzler, "Exchange Rates and the International Monetary Fund," *International Monetary Policies*, Junta de Gobierno del Sistema de la Reserva Federal, Estudios económicos de la postguerra n° 7, Washington, septiembre 1947, p. 5). En conjunto, hemos seguido a Metzler en la elección del período. Pero adviértase que nuestro problema difiere del suyo en cuanto que lo que nos interesa es, no la cuestión de si el tipo de cambio entre dos países se acerca o no a cierto promedio de las razones de precio para todos los artículos, sino si se aproxima a la proporción de costos de construcción de una planta eléctrica.

A la luz de estas consideraciones debe juzgarse para cada país la posibilidad de competencia entre energía atómica y energía termoeléctrica ordinaria sobre la base de las cifras del mapa 1.

En el caso de la U.R.S.S. fué preciso hacer un estudio a fondo del problema de la conversión monetaria. Aunque Rusia importaba parte del equipo generador, el equivalente en rublos del precio pagado por ese equipo, calculado según el cambio oficial, tal vez no refleje los costos rusos de construcción; el monopolio estatal del comercio exterior y de la producción hace que el cambio oficial sea arbitrario. Además, el tipo de cambio fué modificado bruscamente durante los años de preguerra que nos interesan. Para elegir el factor de conversión apropiado se aplicó el criterio que acabamos de describir, esto es, elegimos aquel coeficiente que convertía el costo norteamericano supuesto por kilovatio de capacidad para una planta térmica moderna al precio ruso que correspondiera más exactamente al costo de construcción de una planta semejante en Rusia. Este factor fué de 1 rublo = Dls. 0,19 y todos los costos referentes a la U.R.S.S. que se indican en el mapa 1 se calcularon sobre esta base.

El problema de elegir un factor adecuado de conversión monetaria para Rusia puede ilustrarse a través de los valores aproximados (correspondientes a 1937) de los costos medios de construcción de una planta eléctrica así como del precio medio del carbón en boca de mina en Estados Unidos y en la U.R.S.S.. Dichos valores son:

	E.U.	U.R.S.S. ⁶
Planta eléctrica, por kilovatio de capacidad	Dls. 100	500 rublos
Carbón, por tonelada	" 2	10 "

Aunque con estos valores no hay manera de comparar el costo del carbón en Rusia y en Estados Unidos, si permiten saber que, con relación al costo de construcción de una planta generadora, el carbón cuesta lo mismo en Rusia que en Estados Unidos. Supongamos ahora que se ha estimado el costo de la energía atómica en Estados Unidos y que hemos hallado que únicamente se compone del costo de la instalación y el equipo necesarios. Supongamos, además, que este último costo se estima en el doble del correspondiente a una planta termoeléctrica ordinaria, o sea,

⁶ Las cifras rusas se han deducido de *Electric Power Development in the U.R.S.S.*, informe preparado por un comité científico soviético para la Tercera Conferencia Mundial de Energía (Moscú, Sociedad Editorial INRA, 1936). El valor de inversión en la central de energía no aparece directamente en este documento, pero fué estimado con datos referentes a la inversión en plantas térmicas por millar de KWH anuales, incluyendo la inversión en la minería y el transporte del combustible para la planta eléctrica. (En la página 486 se encuentra el valor de inversión que comprende estos dos últimos conceptos; otros datos utilizados para calcular el costo de las centrales eléctricas, se encuentran en las páginas 390-392 y 411-410. Para un examen más detenido, véase capítulo XIV, D. 1.)

Dls. 200 por kilovatio de capacidad. Admitida la hipótesis de que esta relación es también aplicable en el caso de Rusia, la inversión en energía atómica sería de mil rublos por kilovatio de capacidad, comparado con 10 rublos por tonelada de carbón. Se trata ahora de convertir el precio ruso del carbón en precios norteamericanos para hacer la comparación con los costos atómicos a precios de Estados Unidos. Imaginemos que es menester elegir entre dos tipos de cambio, uno que cotiza el rublo a 50 centavos y el otro a 20 centavos. De acuerdo con el primero, el precio del carbón ruso por tonelada sería de Dls. 5 a precios de Estados Unidos, mientras que, de acuerdo con el segundo, dicho precio sería de Dls. 2 por tonelada. Como es preciso convertir el costo ruso del carbón en precios norteamericanos de tal manera que se conserve la misma relación entre el costo ruso del carbón y la inversión rusa en plantas eléctricas, hemos de elegir el cambio de 20 centavos. La conversión de precios sobre esta base conduciría al siguiente enunciado: si se valora en Dls. 100 por kilovatio la inversión en plantas eléctricas ordinarias y en Dls. 200 por kilovatio la que corresponde a una planta atómica, los valores comparables para los precios del carbón ruso en boca de mina es de Dls. 2 por tonelada. Aun así, no sabemos todavía si, en un sentido absoluto, los costos ruso y norteamericano del carbón en boca de mina son iguales. Sólo sabemos que, expresado en términos de la relación entre el costo del carbón y el costo de la inversión en plantas eléctricas en Rusia, Dls. 2 es el costo adecuado del carbón en comparación con un costo de Dls. 200 por kilovatio instalado en una planta atómica, del mismo modo que Dls. 2 es el costo comparable en Estados Unidos. Esta es, en esencia, nuestra solución del problema de conversión de la moneda rusa (con valores aproximados).⁷

Para resumir: el mapa 1 no pretende establecer una comparación, en términos absolutos, entre el costo de la electricidad ordinaria en los distintos países del mundo. En cambio, las cifras que figuran en el mismo ofrecen una contestación aproximada a la siguiente cuestión: comparado con el costo de suministrar energía atómica en un país cualquiera (estimado a precios de Estados Unidos) ¿cuál es el costo de la electricidad obtenida con los métodos usuales de generación?

⁷ Al aplicar el tipo de cambio de preguerra en comparaciones de precios respecto a 1946, suponemos en el fondo la misma tendencia en los costos de una planta eléctrica en Estados Unidos y en los demás países. No nos fué posible comprobar esta hipótesis. Como se indica más adelante, nuestro reajuste de los precios del combustible en la anteguerra a los precios de 1946 se efectúa también sobre la base de las tendencias de precios en Estados Unidos. En principio, lo que hacemos es lo siguiente: fijamos aproximadamente las relaciones de precios de anteguerra entre el carbón y la inversión en centrales de energía en un país extranjero. A continuación, ajustamos esta relación a los precios de 1946 sobre la base de las tendencias de precios en Estados Unidos entre el período de preguerra y 1946 para los combustibles y la construcción de plantas eléctricas.

2. Resumen de los datos del mapa

a) INFORMACIÓN QUE CONTIENE.⁸ El mapa 1 contiene información acerca del costo de la electricidad y las fuentes de energía utilizadas en su producción para puntos elegidos en todo el mundo. En general, estos puntos son los centros más importantes de población de las diferentes regiones. Como es obvio, las características de tales centros varían dentro de amplios límites según la región de que se trate. Las cifras indicadas para cada localidad representan los costos en la misma estimados según los métodos descritos en secciones anteriores. Estos costos se han agrupado en cuatro clases, designadas por los cuatro colores que se advierten en el mapa.

La información que se ofrece se refiere a regiones que se encuentran en muy diferentes estados de desarrollo económico. Algunas de ellas, como Estados Unidos y ciertas partes de Europa, poseen una industria eléctrica bien desarrollada. En cambio, en el otro extremo, encontramos regiones que, como Australia central y el valle del Amazonas, en el Bra-

⁸ La fuente general más valiosa en cuanto a las fuentes de energía utilizadas en la producción de electricidad y para diferentes países es *Energy Resources of the World* (Departamento de Estado de los Estados Unidos, publicación 3428, Washington, Gov. Printing Of. 1949), de la que hemos podido disponer en forma de borrador preliminar merced a la gentileza del Sr. Nathaniel B. Guyol, quien dirigió aquel estudio, y del Sr. Wilfred Malenbaum. Otras referencias de valía sobre fuentes de energía fueron: los artículos relativos a varios países contenidos en las *Transactions* de la Primera y Tercera Conferencia Mundial de Energía; *Coal Mining in Europe* (Oficina de Minas de E. U., boletín 414, Washington, G.P.O., 1939); y *Foreign Minerals Surveys* preparado por la Oficina de Minas de los E. U.

Nuestras fuentes de información sobre el costo fueron varias. El *Foreign Commerce Yearbook* (publicado por el Departamento de Comercio de E. U.) constituyó una importante fuente en cuanto a precios de exportación e importación de combustibles por países. Algunas Comunicaciones presentadas a la Primera y Tercera Conferencia Mundial de Energía proporcionaron abundante información relativa al costo en determinados países. Con frecuencia utilizamos anuarios oficiales de estadística de los diferentes países (o unidades menores).

En relación con la Unión Soviética, nuestra más importante fuente de información acerca del costo fué *Electric Power Development in the U.S.S.R.*, op. cit. Se complementó ésta mediante textos más recientes sobre la geografía de la Unión Soviética (en particular, J. S. Gregory y D. W. Shave, *The U.S.S.R., A Geographical Survey*, Londres, George G. Hareb, 1944; y N. Mikhailov, *Land of the Soviets*, Nueva York, Lee Furman and Co., 1939).

Para los costos térmicos en Estados Unidos, nos apoyamos principalmente en un mapa de costos del combustible que aparece en Lincoln Gordon, "Power and Fuels" (*Industrial Location and National Resources*, Oficina de Planificación de Recursos Nacionales, capítulo 7, Washington, 1943). Para los costos de energía hidroeléctrica en Estados Unidos, nos basamos principalmente en el trabajo de H. K. Barrows, "Hydro-Generated Energy", *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 64, abril 1938, parte 1. La información referente a energía hidroeléctrica de muy bajo costo para industrias especiales procede de "Aluminum Plants and Facilities", *Report of the Surplus Property Board to Congress*, 21 septiembre 1945, Washington, Gov. Printing Of. 1945.

sil, carecen casi por completo de energía eléctrica. Hasta cierto punto, se ha intentado representar los diferentes grados de desarrollo de la industria eléctrica en las distintas regiones modificando la "densidad" de las observaciones incluídas en el mapa, pero, en todo caso, esto sólo proporciona una gruesa aproximación de dichas diferencias. En el mejor de los casos, esa "densidad" en el mapa sólo puede indicar que Estados Unidos y Europa Occidental poseen una industria eléctrica mucho más desarrollada que, por ejemplo, América del Sur o Asia, pero en ningún modo podrá decirnos algo acerca de las diferencias de desarrollo entre países como India, China, Unión Sudafricana, Australia, Brasil, etc.

Respecto a aquellos lugares donde actualmente se produce electricidad, el mapa trata de dar una imagen representativa de las fuentes de energía utilizadas y de los costos de la electricidad procedente de estas fuentes, en el supuesto de que se produzca en una central térmica moderna. Respecto a aquellos puntos en los que no se produce energía eléctrica, hemos procurado determinar cuál sería la fuente más probable y siempre que ha sido posible hemos estimado sus costos en el supuesto de que se produce en una planta moderna.

El mapa entraña, necesariamente, muchas simplificaciones en cuanto a la información específica que contiene. A menudo hubo que decidir según nuestro propio juicio. Por lo tanto, es indudable que otros investigadores que emprendiesen la misma tarea no trazarían un mapa que concordara con el nuestro en todo punto, aun cuando se basara en las mismas consideraciones generales.

El siguiente esquema resume la información contenida en el mapa y los métodos seguidos para obtenerla:

(1) *Energía termoeléctrica*

1.1 En aquellos casos en que existen plantas termoeléctricas.

1.1.1. Indica los combustibles más importantes utilizados en una región.

1.1.2. Cuando se dispuso de datos adecuados sobre el precio del combustible en una localidad particular, dichos precios se utilizaron para estimar el costo de la electricidad conforme al método anteriormente descrito.

1.1.3. En aquellos lugares cuyo precio del combustible es desconocido, su costo se estimó: *a)* determinando el costo del combustible en la fuente más cercana de suministro, y *b)* sumándole el costo de transportarlo a la localidad en cuestión. Si podía elegirse entre diferentes métodos de transporte, se supuso que se utilizaba el de más bajo costo. Cuando no se pudieron encontrar las tarifas efectivas de transporte, se usaron las tarifas representativas en Estados Unidos.

1.2 En aquellos casos en los que no hay plantas termoeléctricas.

1.2.1. Se examinó la información relativa al potencial hidroeléctrico de la región para determinar si en un futuro desarrollo de la industria eléctrica podrían tener importancia las centrales térmicas. Cuando el potencial hidroeléctrico es muy grande, no se da evaluación alguna del costo térmico.

1.2.2. En aquellos puntos en los que las plantas termoeléctricas pueden jugar un papel importante en el curso de un futuro desarrollo, se calculó cuál sería el combustible que con mayor probabilidad constituiría la fuente de energía y se estimó su costo en la localidad (expresado en precios de preguerra) de acuerdo con el método descrito en 1.1.3. Para localidades que no se encuentran junto a una vía navegable y en las que el transporte se hace solo con medios primitivos, tales como bestias de carga, no se ha evaluado un costo exacto; sólo se indica que los costos caerán probablemente en la clase más alta de costo.

(2) *Energía hidroeléctrica*

2.1 En aquellos casos en que existen plantas hidroeléctricas.

2.1.1. Indica los costos representativos, si se conocen.

2.1.2. Si no se pudo encontrar información acerca del costo, pero la energía hidráulica es una fuente local importante de electricidad, se indica la existencia de medios de producción hidroeléctrica sin valores del costo.

2.2 En aquellos casos en los que no existen plantas hidroeléctricas.

2.2.1. No se indica ni el costo ni la existencia de energía hidráulica. Para saber si el área posee energía hidráulica potencial y en qué medida, bastará examinar el mapa 2 sobre recursos hidroeléctricos mundiales.

b) FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Las fuentes de energía eléctrica indicadas en el mapa 1 son carbón, lignito, turba, petróleo, gas natural y energía hidráulica. Este mapa da cierta idea de su importancia relativa en la producción de energía eléctrica en diferentes partes del mundo y para todo el mundo, pero no pretende ser una representación exacta de hasta qué límite se aprovechan las diferentes fuentes. Esta información suplementaria se encuentra en los cuadros 3 y 4, que presentan cifras acerca de las fuentes utilizadas para generar electricidad en 1937 en todo el mundo y en algunos países.⁹

⁹ Estos dos cuadros se basan casi por completo en cálculos presentados por el Departamento de Estado de los Estados Unidos en un amplio estudio de los recursos mundiales de energía (*Energy Resources of the World*, edición 1949, *op. cit.*).

El cuadro 3 pone de manifiesto que la producción mundial de electricidad en dicho año procedió en su mayoría de unos pocos países. Los siete países que se indican por separado produjeron alrededor del 75 % del total mundial; Estados Unidos, por sí sólo, contribuyó con 30 % de la producción mundial. Casi el 60 % de la electricidad mundial se generó con combustibles y algo más del 40 % se basó en la energía hidráulica. Sin embargo, la importancia relativa de los combustibles y la energía hidráulica difería grandemente entre los distintos países del mundo. Por ejemplo, en Estados Unidos aproximadamente $\frac{2}{3}$ de la electricidad fué generada en fuentes térmicas y $\frac{1}{3}$ procedió de generación hidroeléctrica, mientras que en Gran Bretaña el total consistía casi enteramente en electricidad de origen térmico y en el Canadá el total era casi por completo energía hidroeléctrica. En el cuadro 4 se indica la importancia relativa de los diferentes combustibles utilizados en la producción de energía térmica. Casi $\frac{3}{4}$ de la electricidad térmica del mundo se generó con carbón, en una cantidad aproximadamente igual a la producción hidroeléctrica mundial. La electricidad generada con otros combustibles, fué algo menos de 15 % de la generación total mundial en 1937.

Si bien estos combustibles constituían una parte relativamente poco importante de los totales mundiales, a menudo eran muy importantes en determinados países. El lignito, aunque no utilizado ampliamente, fué una fuente de electricidad extraordinariamente importante en Alemania y algunos otros países (incluyendo Checoslovaquia) no indicados por separado en el cuadro 4. En la U.R.S.S., la turba constituía en 1937 un elemento de gran importancia y el gas natural lo fué en Estados Unidos, particularmente en Texas y Oklahoma. Conforme se indica en la última línea del cuadro 4, en gran número de países se utilizó el petróleo como fuente de electricidad. Fué la más importante fuente utilizada en muchos de ellos que eran, sin embargo, pequeños productores de electricidad. La cantidad total de electricidad producida con petróleo representa sólo 3 % de la producción total mundial.

c) COSTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA. Conforme se indica en el mapa 1, el margen de variación de los costos de generación para fuentes ordinarias

En algunos casos ciertos datos que se señalan en el mapa 1 no están de acuerdo con las estimaciones indicadas en los cuadros 3 y 4. Por ejemplo, nuestra investigación puso de manifiesto que en la U.R.S.S. se utilizaba una pequeña cantidad de gas natural para producir electricidad, lo que se señala en el mapa. En cambio, el cuadro 3 no indica producción alguna de electricidad procedente del gas natural en la U.R.S.S. Análogamente, en el mapa 1 señalamos la producción de energía eléctrica en Estados Unidos procedente del lignito, mientras que en el cuadro 4 éste se incluye en la columna correspondiente al carbón bituminoso. Refleja esto una diferencia de clasificación en los carbones. Con todo, esas diferencias tienen escasa importancia en relación con el patrón general de estos países en cuanto a la utilización de la energía para la producción de electricidad.

CUADRO 3. Generación térmica e hidroeléctrica en países seleccionados, 1937.
(Producción en billones (10⁹) de KWH)

País	Producción total de electricidad	Porcentaje de la producción mundial	Generación termoeléctrica	Porcentaje de la producción total nacional de electricidad	Producción hidroeléctrica	Porcentaje de la producción total nacional de electricidad
Estados Unidos ^b	118.5	29.8	74.5	64.0	44.0	36.0
Alemania	49.0	12.1	42.1	85.9	6.9	14.1
U.R.S.S.	36.4	9.0	29.5	81.0	6.9	18.9
Canadá	27.7	6.8	0.5	1.8	27.2	98.2
Japón	27.4	6.7	7.2	26.4	20.1	73.5
Gran Bretaña	23.0	5.7	22.4	97.3	0.6	2.7
Francia	18.2	4.4	8.3	45.6	9.9	54.4
TOTAL DE LOS PAÍSES ANTERIORES	300.2	74.5	184.5	61.9	115.6	38.1
Resto del mundo	103.0	25.4	45.7	44.4	57.3	55.6
TOTAL MUNDIAL	403.2	100.0	230.2	57.4	172.9	42.5

Fuentes: Las cifras no referentes a Estados Unidos han sido adaptadas de las evaluaciones dadas en *Energy Resources of the World*, Departamento de Estado de los E. U. (edición preliminar 1945.)

^a Las cifras correspondientes a Estados Unidos se refieren sólo a la electricidad para consumo público, no a la producida por las industrias para su propio uso (Véase capítulo XIII).

^b Cifras de la Comisión Federal de Energía, "Consumption of Fuel for Production of Electric Energy, 1946". Excluye una pequeña cantidad producida con madera y sus desechos.

CUADRO 4 Producción de energía termoeléctrica según el combustible empleado: en el mundo y en países seleccionados (1971)^a

Producción en billones (10⁹) de KWH

País	Producción termoeléctrica total	carbón		lignito		petróleo		gas natural		gas fabricado ^b		turba	
		Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con	Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con	Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con	Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con	Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con	Cantidad producida con	Porcentaje del total del país, producido con
Estados Unidos ^c	74.5	59.7	80.6	20.0	47.2	4.9	6.4	9.8	12.8	0.1	0.2	-	-
Alemania	42.1	18.0	43.2	-	-	0.2	0.4	-	-	3.9	9.2	-	-
U.R.S.S.	29.5	17.3	58.6	-	-	2.7	9.2	-	-	1.4	4.7	-	-
Canadá	0.5	0.5	100.0	-	-	-	-	-	-	+	0.2	-	-
Japón	7.2	7.2	99.8	-	-	+	0.2	-	-	+	0.3	-	-
Gran Bretaña	22.4	22.4	99.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Francia	8.3	8.3	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (7 países)	184.5	133.4	73.2	20.0	10.2	7.8	4.2	9.8	5.5	5.4	2.8	8.1	4.1
Resto del mundo	45.7	34.3	76.7	6.9	13.0	4.0	8.7	0.4	1.0	0.2	0.4	+	0.1
TOTAL MUNDIAL	230.2	167.7	73.8	26.9	10.7	11.8	5.1	10.2	4.6	5.6	2.3	8.1	3.4
Países que utilizan cada combustible	-	59	-	8	-	61	-	2	-	7	-	8	-

Fuente de Información: Todas las cifras, salvo las referentes a los Estados Unidos, han sido adaptadas de las evaluaciones señaladas en *Energy Resources of the World*, edición preliminar, 1945, *op. cit.*

+ La cantidad producida fue inferior a 100 millones de KWH.

a) Véase la nota a al pie del cuadro 3.

b) Por lo menos una parte del gas fabricado que se emplea en la producción de electricidad, es generado como subproducto en la industria del coque y en los altos hornos.

c) Datos tomados de "Consumption of Fuel for Production of Electric Energy", *op. cit.* Se excluye una pequeña cantidad producida a partir de la madera y sus desechos.

d) Incluye una pequeña cantidad producida a partir de la madera

MAPA DE LOS COSTOS

79

de energía, calculados con el fin de compararlos con los costos de la energía atómica, va desde 0,5 milésimos hasta 10,5 milésimos por KWH, o desde considerablemente menos que el costo mínimo estimado de la energía atómica hasta cerca del correspondiente al costo máximo. Este margen incluye costos que difieren mucho entre sí para distintas regiones del mundo, y con frecuencia para diferentes partes de un mismo país. Tales variaciones pueden apreciarse fácilmente observando los colores que representan en el mapa los distintos grupos de costos o, con mayor detalle, examinando las evaluaciones del costo por separado. Las cuatro clases representadas por los cuatro colores proporcionan un sumario útil de las variaciones geográficas del costo. En esta sección examinaremos los factores que determinan estas diferencias geográficas y determinaremos su significado para fines de comparación con la energía atómica.

Los datos expuestos en la sección anterior indican que, en escala mundial, sólo el carbón y la energía hidráulica constituyen fuentes importantes de electricidad. Para dejar el camino libre al estudio del carbón y la energía hidráulica, primero investigaremos brevemente las fuentes de energía de menor importancia.

Entre los combustibles de poca importancia, dos de ellos, el lignito y la turba, presentan una misma característica. Por regla general, se utilizan en la producción de energía sólo en la inmediata vecindad de los lugares de donde se extraen, ya que su poder calorífico es tan bajo comparado con el del carbón, que los costos de transporte, por unidad de energía, resultan excesivos. Por lo tanto, al evaluar la posible importancia económica de la energía atómica, no es necesario considerar la posición competitiva del lignito y la turba sino en el caso de muy pocas regiones. En tales zonas, los costos de la electricidad, indicados en el mapa 1, va de 5 a 7,5 milésimos de dólar por KWH, si bien la mayor parte de ellos están comprendidos entre 5 y 6 milésimos. En general, pues, la energía atómica podría competir en aquellas regiones que utilizan turba y lignito (a base de los precios de estos combustibles en la preguerra) sólo si pudiera producirse a un costo inferior al costo intermedio estimado.

Otros dos combustibles de importancia secundaria, el gas natural y el petróleo, son poco utilizados en la producción de energía, principalmente a causa de la fuerte presión representada por las demandas para otros fines de la limitada cantidad disponible. Las plantas eléctricas adquieren petróleo o gas, por regla general, sólo si el precio por unidad de energía no supera al de otros combustibles, por ejemplo al del carbón. Sin embargo, el petróleo y el gas son especialmente adecuados para usos distintos a la producción de electricidad. Por ejemplo, el petróleo es conveniente para fines de transporte, y tanto el petróleo como el gas presentan ventajas en ciertas industrias especiales y para uso doméstico. De ahí que

estos combustibles se utilicen para la producción de energía eléctrica únicamente en circunstancias especiales. El caso más frecuente de utilización del gas natural para la producción de energía es el de regiones que lo contienen y en las cuales se obtiene más gas (lo mismo de pozos de gas que de petróleo) del que la región consume para otros usos o del que puede ser transportado fuera de la misma mediante los gasoductos disponibles. En estas circunstancias, la energía eléctrica es muy barata, tan barata que a veces, llega a los 4,5 milésimos de dólar por KWH en localidades de Estados Unidos, la U.R.S.S. y Rumanía ricas en gas. En consecuencia, aunque la utilización del gas carece en general de importancia en la producción de energía, la energía nuclear no constituiría un elemento de competencia en aquellos sitios que usan gas a menos que la energía nuclear se produjera a un costo no muy por encima del mínimo estimado.

Si bien el petróleo y el gas natural contribuyen con cantidades casi iguales a la energía mundial, la distribución geográfica de su utilización con vistas a la producción de energía eléctrica es muy diferente en el caso de uno y otro combustible. Mientras la utilización del gas para dicho fin está confinada a las regiones que lo contienen, el petróleo se usa para producir energía en regiones muy alejadas de las fuentes del mismo. Esto se debe a una diferencia obvia entre ambos. Mientras que el gas puede transportarse económicamente sólo mediante conducciones, el petróleo puede enviarse en camiones-tanque, aunque no a un precio tan barato como en oleoductos, y, lo que todavía es más importante, puede ser transportado allende el mar por medio de buques-tanques a un costo muy bajo. En ciertos casos, la utilización del petróleo para producir electricidad resulta económica en partes muy aisladas del Globo. En este sentido, el petróleo puede considerarse como un posible competidor universal de la energía atómica como fuente de electricidad. Con todo, la cantidad casi insignificante con que realmente contribuye al total de energía eléctrica, indica que otras fuentes de energía han resultado generalmente más económicas que el petróleo. Estas otras fuentes son la energía hidráulica y el carbón. El papel futuro de la energía atómica como fuente de electricidad estará determinado principalmente en competencia con ellas.¹⁰

¹⁰ Si el precio del carbón continúa aumentando con relación al precio del petróleo y del gas, estos dos últimos combustibles pueden llegar a ser más importantes en lo que concierne a la producción de electricidad en Estados Unidos. A decir verdad, existen ciertos indicios de que están ganando ya importancia relativa. ("Survey Shows Coal Losing to Gas, Oil", *New York Times*, 8 marzo 1950.) Únicamente el petróleo podría rivalizar con el carbón en escala mundial, pero esto sólo ocurriría con precios del combustible superiores a los de 1937 y 1946 (que hemos utilizado en nuestro análisis de costos). Nótese también que el análisis que sigue para el carbón podría también aplicarse, en sus rasgos esenciales, al petróleo.

1) *Energía hidráulica.* Los costos mínimos de producción de energía eléctrica se encuentran en diversos aprovechamientos hidroeléctricos de diferentes partes del mundo. En puntos privilegiados de varios países, incluyendo Noruega, Suecia, Yugoslavia, Japón, Italia, Suiza, Estados Unidos y la Unión Soviética, la energía hidroeléctrica se produce a un costo de 4 milésimos por KWH y aun menos. La electricidad a un costo tan bajo es más barata que el costo más bajo hoy concebible de la energía atómica. Sin embargo, el mapa indica también casos en los que se produce energía hidroeléctrica a un costo mucho más elevado. De hecho, el mapa 1 pone de relieve que los costos hidroeléctricos presentan una variación más amplia que la electricidad producida con cualquier otra fuente de energía; es la única que da lugar a costos de producción que caen en cada una de las cuatro clases. Esta variación de los costos resulta de amplias diferencias en las condiciones naturales con que se presenta la energía hidráulica en uno y otro lugar, incluso dentro de un país abundantemente dotado, como Noruega. Este hecho trae consigo importantes consecuencias para las comparaciones del costo entre las distintas fuentes de energía. Así, donde el mapa 1 indica la existencia de aprovechamientos hidroeléctricos, pero no presenta costo alguno, es inexacto suponer, en ausencia de mayor información, que el costo en esa central eléctrica pertenecerá, necesariamente, a uno de los grupos más bajos.

Como ya hemos indicado, el mapa 1 comprende sólo aprovechamientos eléctricos en explotación. El mapa 2 muestra la distribución en todo el mundo de la energía hidroeléctrica potencial, incluyendo las cantidades ya en explotación.¹¹ Es fácil ver que la distribución de la energía hidráulica potencial se ciñe generalmente al relieve y a la lluvia. Las regiones secas presentan un pequeño potencial hidroeléctrico: véase, por ejemplo, la mayor parte de África a partir del paralelo 15° hasta la costa septentrional; Australia central; la mayor parte de Arabia; Irán; Turquistán y Mongolia. Análogamente, las regiones llanas poseen un potencial pequeño: así, por ejemplo, la llanura norteamericana que se extiende desde el noroeste de Francia hasta Bélgica, Holanda, Alemania septentrional, Polonia y Estonia; buena parte de la zona central de Estados Unidos y Gran Bretaña.

Según el mapa 2, existe buen número de áreas ricas en energía hidráulica.

¹¹ Los datos indicados en el mapa 2 se refieren al potencial hidráulico total, esto es, incluyendo la parte del mismo ya en explotación; representan, además, la energía total que se podría obtener a base del "gasto mínimo ordinario". Por lo general, se entiende por "gasto mínimo ordinario" aquel volumen de agua del que se puede disponer entre el 90 y el 95 % del tiempo; es decir, que sólo entre el 5 y el 10 % del tiempo la corriente de agua sería inferior al mínimo ordinario. A veces se estima el "gasto mínimo ordinario" sobre la base de la corriente media durante los meses de estiaje. La capacidad instalada en lugares en que la energía hidráulica se aprovecha al máximo excederá, por lo general, en 2 ó 3 veces a la energía potencial disponible con el gasto mínimo.

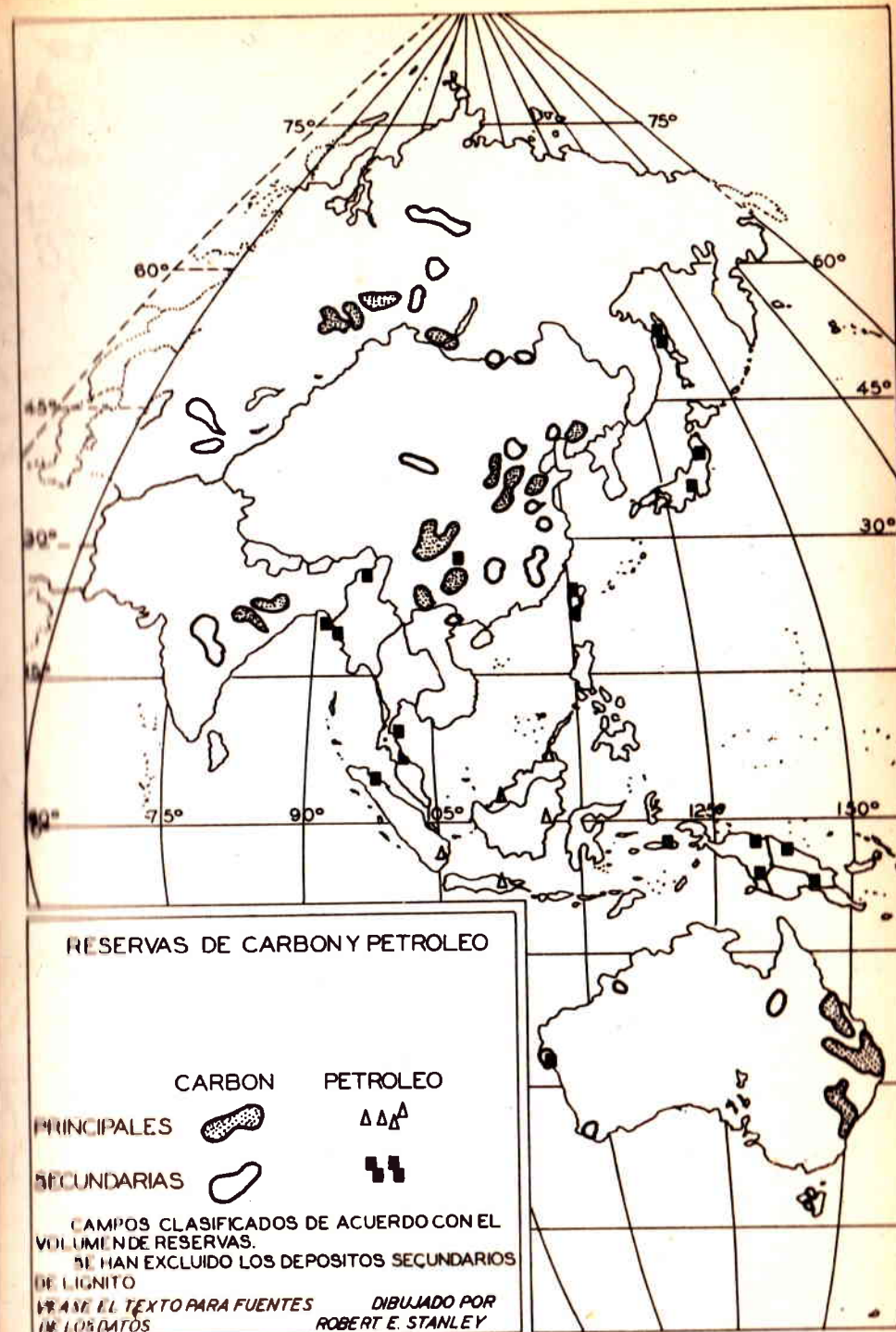
lica. Sin embargo, en ausencia de investigaciones técnicas de sitios específicos no es posible decir qué parte del potencial indicado en un lugar cualquiera tiene significación económica o, más exactamente, a qué costo podría aprovecharse la energía potencial.

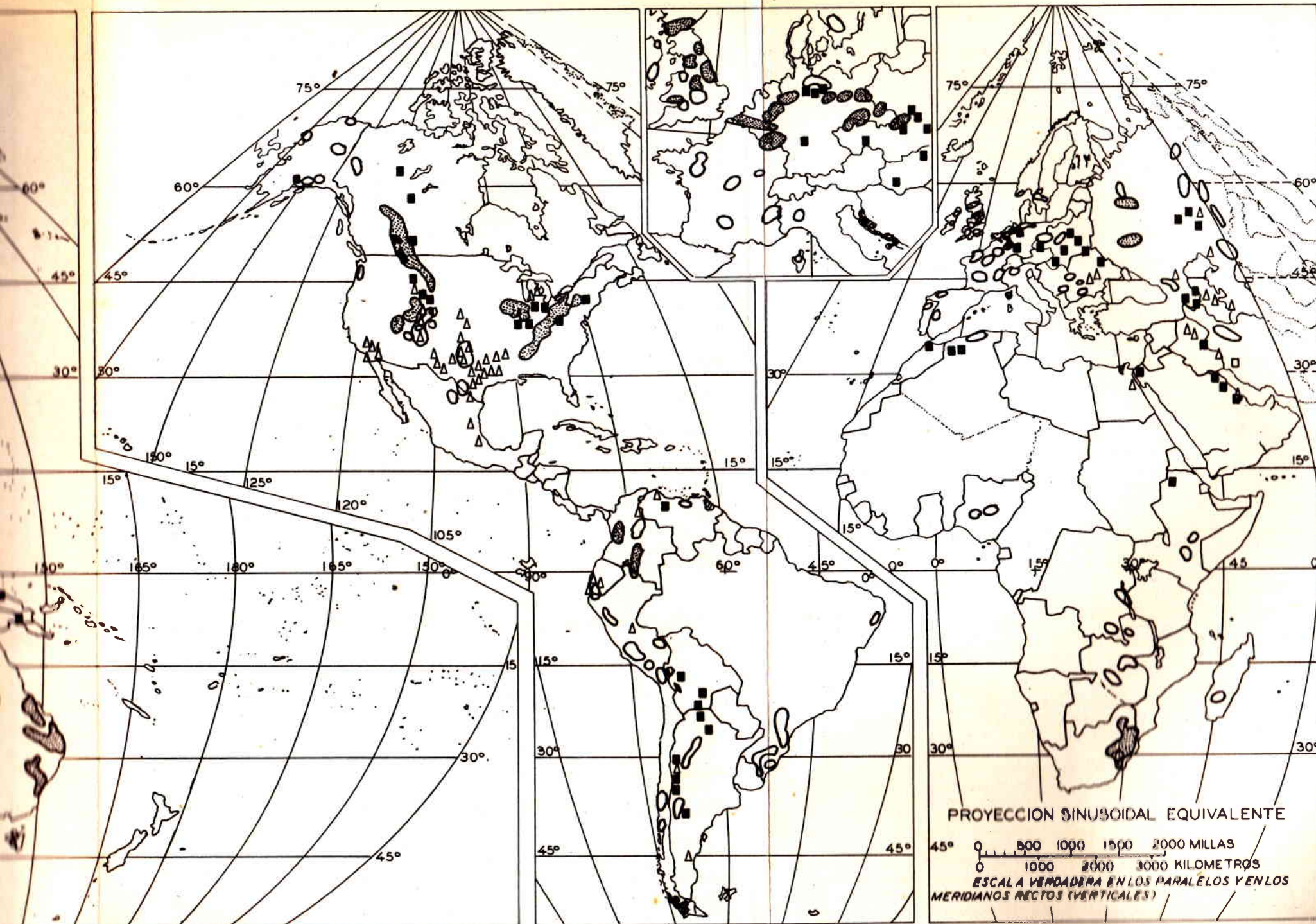
2) *Carbón.* El carbón es, con mucho, la más importante fuente de electricidad térmica en todo el mundo. Por supuesto, la electricidad basada en el carbón se produce a más bajo costo en aquellas regiones que lo contienen. En algunos casos, el carbón cuesta en la mina no más de aproximadamente Dls. 1,5 por tonelada; quemando carbón a este precio, nuestra central térmica hipotética podría producir energía a unos 4,5 milésimos de dólar por KWH. En la década anterior a la última guerra se podía obtener carbón a este precio tan bajo, en algunas partes de Estados Unidos, Reino Unido, Unión Soviética, Manchuria, China, India y África del Sur. Sin embargo, éste era un precio inusitadamente bajo, incluso cerca de las minas. El valor medio del carbón en boca de mina era en Estados Unidos de alrededor de Dls. 2,00 por tonelada, lo que daría un costo de producción comprendido entre 4,5 y 5 milésimos por KWH en la central supuesta. Nuestros costos estimados para la electricidad

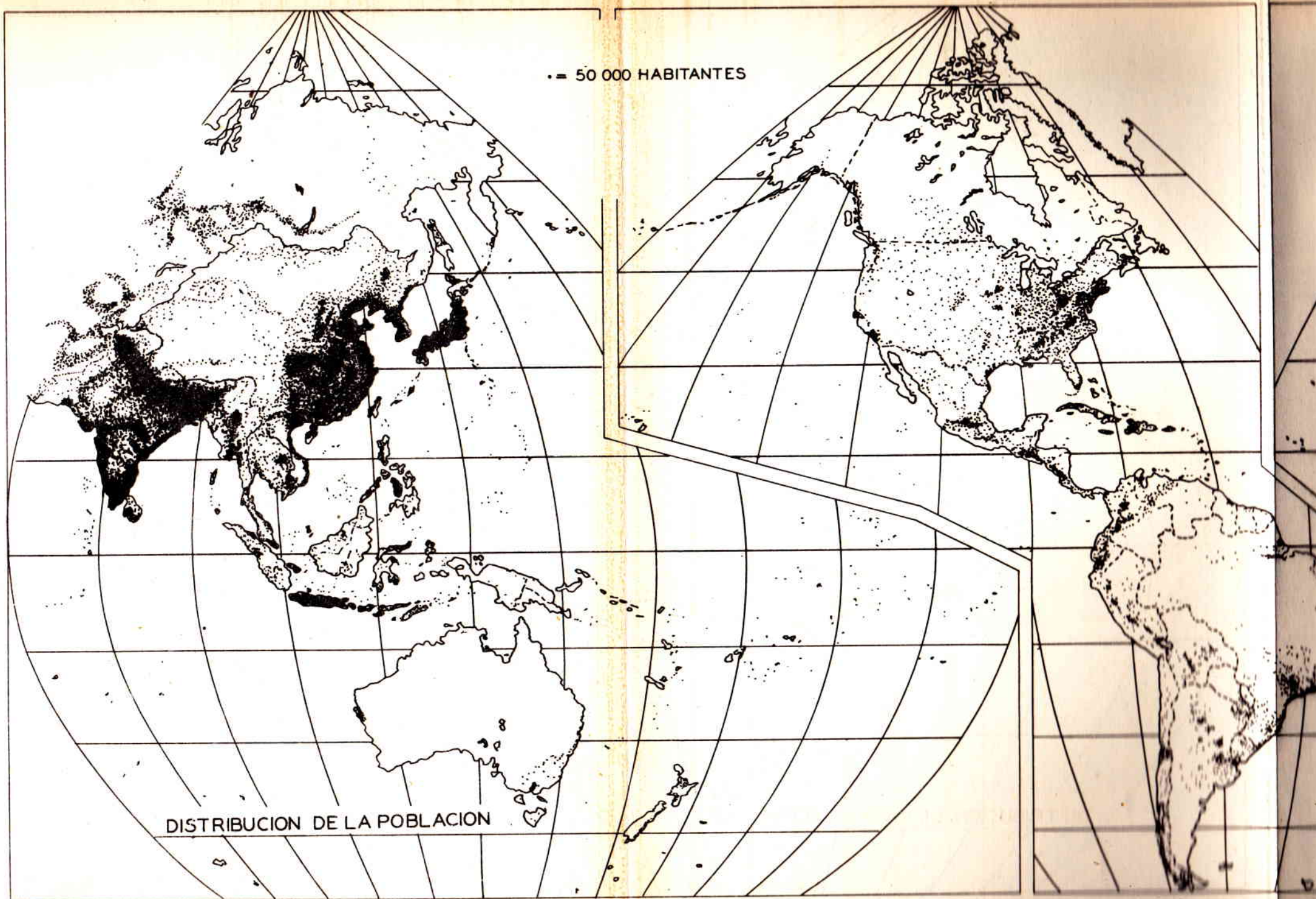
Nuestra fuente más importante de información sobre energía hidráulica potencial en todo el mundo es la compilación, preparada por el Servicio Geológico de E. U., contenida (entre otras publicaciones) en el *Foreign Commerce Yearbook*, 1937 (Departamento de Comercio de E. U., Washington, Gov. Printing Of. 1938). Sin embargo, para algunos países otras estimaciones parecen preferibles a las del Servicio Geológico Norteamericano. Nuestras estimaciones respecto a la Unión Soviética, se han realizado a partir de datos que figuran en *Electric Power Development in the U.S.S.R.*, op. cit.; respecto a otros países, entre ellos Brasil, China e India, nuestros cálculos se basan en comunicaciones presentadas a la Primera y Tercera Conferencia Mundial de Energía.

El potencial total de energía hidráulica de un país se ha dividido por regiones siempre que su extensión lo justifica y ha habido datos necesarios. Las divisiones regionales se efectúan de ordinario de acuerdo con la subdivisión política fundamental del país. En Canadá, de acuerdo con las provincias; en Estados Unidos y el Brasil, según los estados, etc. En el caso de algunos países, los datos disponibles permitían únicamente su división según otros tipos de regiones; por ejemplo, en la parte asiática de la U.R.S.S., por cuencas fluviales; en Francia, Italia y Suecia, según arbitrarias divisiones geográficas. La extensión de las subdivisiones varía, claro está, de uno a otro país.

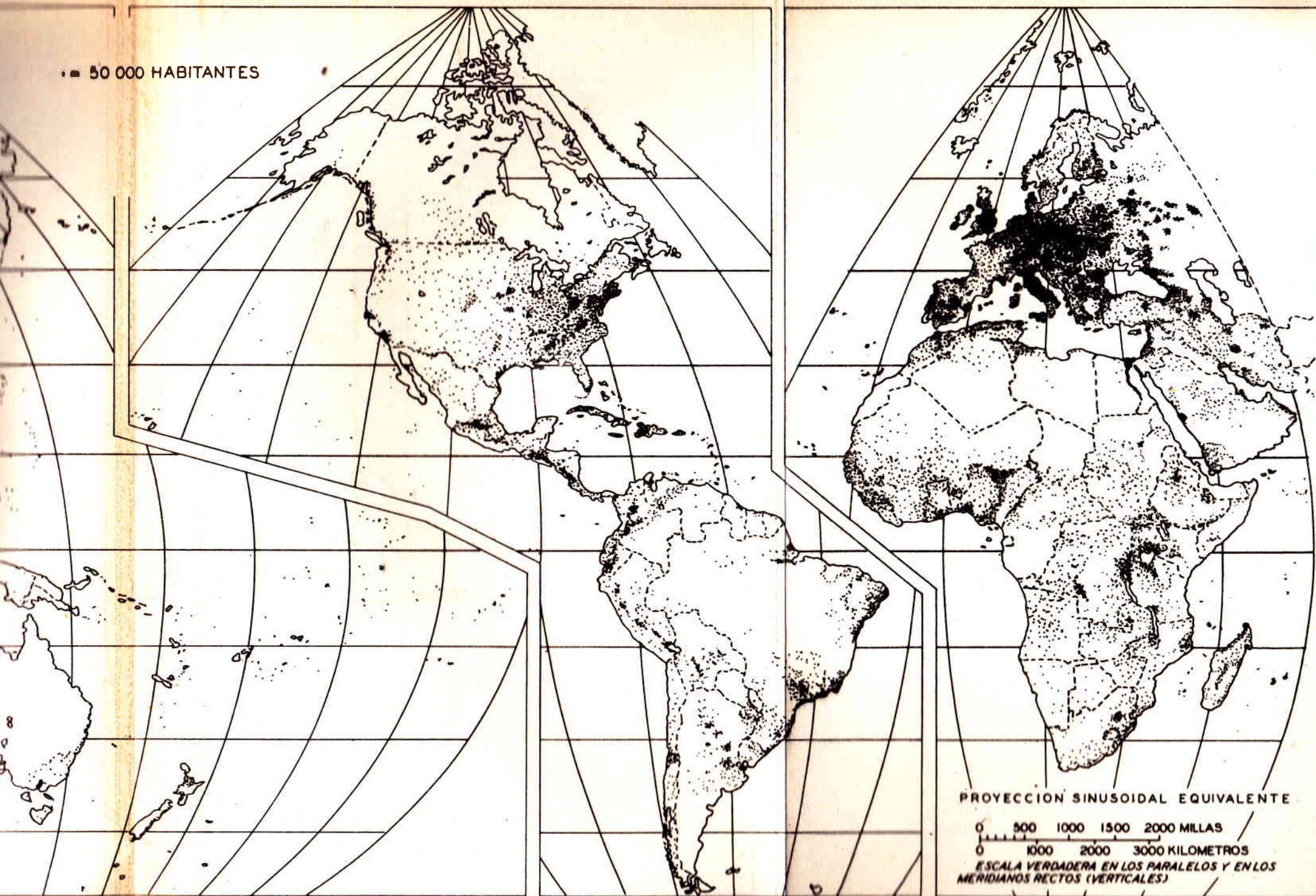
Es necesario tener presente la siguiente advertencia: "Debe insistirse en que hasta la fecha ninguna compilación de datos estadísticos sobre energía hidráulica puede considerarse definitiva. Son pocos los países que disponen de una información exacta, y es dudoso que, incluso para el territorio más perfectamente examinado, pueda llegarse a un valor numérico definitivo... Entre los países en los que se ha alcanzado una primera aproximación de sus recursos hidráulicos, podemos mencionar los siguientes: Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Tasmania, Gran Bretaña, Noruega, Suiza, Austria, Japón, Indias Orientales Holandesas, Checoslovaquia y Alemania." (*Power Resources of the World*, Londres, Conferencia Mundial de Energía, 1929, p. 54). Aunque estas palabras se escribieron hace más de 20 años, no por ello son hoy menos válidas.







• = 50 000 HABITANTES



producida cerca de minas de carbón oscilan, para las diferentes partes del mundo, entre 5 y 5,5 milésimos por KWH.

La amplitud de la variación de los costos estimados de la electricidad generada con carbón, sólo es inferior a la de los costos de generación hidroeléctrica. A pesar de la mayor movilidad del carbón en comparación con la energía hidroeléctrica, la turba, el lignito y el gas, el costo de transporte constituye todavía una parte importante del costo de entrega del carbón en la mayor parte de lugares.

Por ejemplo, en Estados Unidos en 1937 el valor promedio del carbón l.a.b. mina era de Dls. 1.95 mientras que el flete promedio por transporte y tonelada neta era de Dls. 2,17. Un valor típico del flete por transporte ferroviario a una distancia de 500 millas era de Dls. 4,13. Las tarifas de transporte marítimo, aunque mucho más bajas por tonelada-milla que las ferroviarias, son todavía considerables a causa de las largas distancias que con frecuencia entran en juego. El precio medio de venta por tonelada métrica de carbón en boca de mina en Gran Bretaña era de Dls. 3,75 en 1937; el valor promedio declarado por tonelada de carbón exportada era de Dls. 4,61; en gastos de transporte a varios puertos de Brasil y Argentina oscilaban entre Dls. 3,20 y 3,60. El precio en estos puertos, por consiguiente, oscilaba entre Dls. 7,80 y 8,20 por tonelada métrica, y en muchas ciudades alejadas de la costa el precio era de Dls. 10,50 o más por tonelada.

Así, en el ejemplo anterior, si el costo medio de producción en una planta eléctrica moderna en boca de mina se estima en Estados Unidos en unos 4,8 milésimos de dólar por KWH (a un factor de planta de 50 %), una central térmica del mismo tipo situada a 500 millas de la mina por ferrocarril, tendría un costo de producción de cerca de 6.5 milésimos por KWH. Análogamente, si el costo medio de producción en una planta moderna en boca de mina en Gran Bretaña se estima en 5.5 milésimos por KWH, una central térmica similar en una ciudad portuaria del Brasil o la Argentina, que utilice carbón de la misma procedencia británica produciría la electricidad a un costo de unos 7.0 milésimos por KWH; y en ciudades del interior el costo excedería los 8 milésimos por KWH. Nótese que en boca de mina, el carbón medio inglés y norteamericano valorado a precios de 1937 produciría la electricidad a un costo tan bajo, que la energía atómica sólo podría competir en caso de que pueda obtenerse a un costo próximo al mínimo estimado. Cuando al precio del carbón se añaden los gastos de transporte, el resultado de la comparación cambia de sentido. A 500 millas de la mina por ferrocarril en Estados Unidos, el costo de la energía termoeléctrica sería casi igual que el costo intermedio estimado de la energía atómica; en el Brasil y la Argentina, el costo de la electricidad generada con carbón británico caería entre el costo intermedio y máximo calculado para la energía atómica.

Estos ejemplos poseen una significación general. Como el carbón, es, con mucho, la principal fuente de energía termoeléctrica, las amplias variaciones generales en el costo de la electricidad representadas en el mapa 1 son, principalmente, resultado de las diferentes distancias que hay que cubrir al transportar el combustible de la mina a la planta eléctrica. Se deben, por consiguiente, a la extraordinariamente desigual distribución del mineral combustible en el mundo. Esta se indica en el mapa 3 por lo que se refiere al carbón y al petróleo, los dos combustibles que más se transportan en el mundo.¹²

Los yacimientos carboníferos más importantes se encuentran en el hemisferio septentrional. Si exceptuamos unas pocas regiones, como Australia oriental y la Unión Sudafricana, el hemisferio meridional tiene un déficit de carbón. Pero incluso en el hemisferio norte existen muchos países que no lo poseen y muchas regiones que se encuentran lejos de los campos carboníferos.

CUADRO 5. Producción mundial de carbón en los principales países (1937)

País	Producción ^a (en millones de toneladas métricas)	Porcentaje de la producción mundial
Estados Unidos	449.4	32.5
Gran Bretaña	244.3	17.6
Alemania	234.7	17.0
U.R.S.S. (cifras de 1936)	115.2	8.3
Francia	44.7	3.2
Japón (cifras de 1936)	41.8	3.0
Polonia	36.2	2.6
Bélgica y Luxemburgo	29.9	2.2
Checoslovaquia	28.9	2.1
TOTAL, países citados	1.225.1	88.5
TOTAL MUNDIAL	1.384.2	100.0

Fuente: *Energy Resources of the World*, ed. 1949, op. cit., p. 44.

^a Incluye lignito, expresado en su equivalente calorífico en toneladas de carbón.

La distribución de los recursos de carbón queda reflejada en las estadísticas de producción indicadas en el cuadro 5. Los diez países en ella especificados producían el 90 % de todo el carbón mundial antes de la última guerra. Cuatro de ellos —Estados Unidos, Gran Bretaña, Alema-

¹² El libro de T. S. Lovering, *Minerals in World Affairs*, Prentice-Hall, Inc., Nueva York, 1944, constituye nuestra principal fuente de información para el mapa 3. Como fuentes suplementarias, hemos utilizado: *Coal Resources of the World*, XII Congreso Internacional de Geología, Toronto, Morang and Co., 1913; *Energy Resources and National Policy*, Comité de Recursos Nacionales de los E. U., Washington, Gov. Printing Of. 1939; y *Coal Mining in Europe*, op. cit.

nia y la Unión Soviética— producían cerca del 75 % del total mundial. Dentro de estos países, la producción estaba concentrada en unas pocas áreas mineras principales, como los campos del centro y de los Apalaches en Estados Unidos, el Ruhr y Silesia en Alemania y los yacimientos de las cuencas del Donetz y el Kuznetzk en la Unión Soviética.

La producción de petróleo se encuentra aun más concentrada que la producción de carbón. El cuadro 6 indica que cuatro países —Estados Unidos, la Unión Soviética, Venezuela y el Medio Oriente— representan cerca del 90 % de la producción mundial. (Dichos países contienen también el 90 % de las reservas comprobadas mundiales.) Además, dentro de los países productores, la producción está concentrada en unas cuantas localidades; por ejemplo, el sudoeste de los Estados Unidos y las regiones de Bakú y Emba en la Unión Soviética.

CUADRO 6. Producción mundial de petróleo crudo en las principales regiones productoras (1937 y 1945).

Región	1937		1945	
	Producción (millones de barriles)	Porcentaje de la producción mundial	Producción (millones de barriles)	Porcentaje de la producción mundial
Estados Unidos	1.279.2	62.7	1.711.1	61.5
U.R.S.S.	193.2	9.5	300.0	10.8
Venezuela	186.2	9.1	321.9	11.6
Medio Oriente	117.5	5.8	201.0	7.2
TOTAL, países citados	1.776.1	87.1	2.534.0	91.1
TOTAL MUNDIAL	2.039.2	100.0	2.783.0	100.0

Fuentes: 1946 *World Oil Atlas*, 2ª Sección de *The Oil Weekly*, vol. 121, 20 mayo 1946; *Minerals Yearbook*, 1940, Departamento del Interior de E. U., Oficina de Minas, Washington, Gov. Printing Of. p. 1017.

d) COSTO DE LA ENERGÍA TERMOELÉCTRICA EN ESTADOS UNIDOS Y EN LA UNIÓN SOVIÉTICA. Una circunstancia curiosa que revela el mapa 1 es que a pesar de que las distancias en la Unión Soviética son relativamente mayores y de que su sistema de transporte está menos desarrollado que el de Estados Unidos, el campo de variación de los costos de la energía eléctrica generada con carbón es más reducido en Rusia que en Estados Unidos. Así, mientras el costo de la energía producida con carbón oscila en Estados Unidos entre 4,5 y 7,0 milésimos por KWH, en la Unión Soviética sólo varía entre 4,5 y 6,0 milésimos. Los costos rusos incluyen un gasto menor que los estadounidenses por tonelada-kilómetro transportada de carbón. Como en la década de preguerra no era raro que el gobierno soviético subvencionase ciertos artículos y servicios importantes para la industrialización, incluyendo el carbón y el transporte ferro-

viario, hay razones para creer que los costos de la energía termoeléctrica indicados en el mapa 1 se basan, en ciertas partes de la Unión Soviética, en un precio del carbón que es inferior a su costo real en el lugar de la planta eléctrica.¹³

Como consecuencia de ello, hemos calculado nuevamente los costos rusos que se señalan en el mapa 1 en el supuesto de que rijan las mismas tarifas de transporte que en Estados Unidos. Partiendo de esta base, encontramos que los costos de la electricidad producida con carbón que hemos indicado en el mapa 1 para la Unión Soviética, deben, por término medio, reajustarse en el sentido de aumentarlos como sigue (en milésimos de dólar por KWH):

Costos según el mapa 1	Costos según los gastos de transporte revisados sin cambio
4.5-5.0	
5.5	6.0-6.5
6.0	7.0-7.5

Con estos reajustes el campo de variación de los costos de la energía termoeléctrica sería más amplio en la Unión Soviética que en Estados Unidos.

Es posible que el reajuste arriba indicado no tome íntegramente en cuenta el efecto de la subvención gubernamental; en rigor, sólo considera la subvención a los ferrocarriles, pero no a la propia extracción de carbón. En el período a que se refieren los datos disponibles, las empresas soviéticas estaban experimentando una transición desde un régimen altamente subvencionado a otro en que habían de mantenerse por sí mismas; pero se sabe que a las industrias clave, como la de extracción del carbón y transporte ferroviario, se les había concedido una transición más lenta.¹⁴ Es muy probable, por lo tanto, que el ajuste que hemos ensayado más arriba requiera una nueva corrección aditiva para poder constatar la siguiente pregunta: ¿en qué regiones de la U.R.S.S. estaría económicamente justificada la construcción de plantas de energía atómica?¹⁵

¹³ Véase, por ejemplo, Alexander Baykov, *Historia de la Economía Soviética*. Fondo de Cultura Económica, México, 1948.

¹⁴ G. Bienstock, S. Schwarz, y A. Yugow, *Management in Russian Industry and Agriculture*, (A. Feiler and J. Marschak, eds.), Nueva York, 1944, pp. 80-82. En 1936, la revista oficial sobre planificación justificaba el subsidio al carbón de la siguiente manera: "La existencia de precios bajos para el carbón, los metales, las herramientas y las máquinas crean incentivos adicionales para que las técnicas mecánicas arraiguen en todas las ramas de la economía nacional. Pero si, a la vez, el costo de producción es elevado, el mantenimiento de precios relativamente bajos para los artículos producidos por la industria pesada es únicamente posible mediante subsidio estatal" (M. Bogolepov, "On Sales Prices in Industry", *Planned Economy*, 1936, n° 5, pp. 76-77).

¹⁵ No tomamos en cuenta, claro está, la posibilidad de que los rusos, al igual

retirando así recursos de la minería del carbón y del transporte ferroviario?¹⁶

c) PRECIOS DEL COMBUSTIBLE EN 1946. Conforme hicimos notar anteriormente, la estimación del costo atómico se basa en precios de 1946, mientras que los valores señalados en el mapa 1 reflejan los costos del combustible que regían antes de la guerra; si en la deducción de éstos se hubieran utilizado precios del combustible en 1946, los costos de producción térmica indicados en el mapa hubieran sido considerablemente mayores en muchas regiones. Pero, como ya dijimos, no puede atribuirse una gran significación permanente a los precios del combustible para 1946 en la mayor parte del mundo, dada la aguda crisis mundial del carbón como consecuencia de la guerra. En otras palabras, en 1946 el precio del carbón era en la mayoría de los países, excesivamente alto comparado con el nivel general de precios.

Aunque Estados Unidos no escapó por completo a los efectos de la escasez de combustible en la postguerra, es probable que para esta nación los precios del carbón en 1946 estuvieran más de acuerdo que en cualquier otro país con el nivel general de precios correspondientes a dicho año.¹⁷ Es, por consiguiente, muy importante deducir los costos de producción de la energía térmica en Estados Unidos utilizando precios del combustible en 1946, para su comparación con los costos estimados de la energía atómica. El incremento en los costos térmicos estimados por encima de las evaluaciones basadas en los precios del carbón vigentes durante la anteguerra en Estados Unidos, puede también indicar en cierto modo cuánto aumentarían los costos estimados para los demás países del mundo e indicados en el mapa 1 si en su cálculo se utilizaran precios que

que otros, subvencionen las plantas de energía atómica a causa de su importancia militar (véase capítulo I, apéndice B.).

¹⁶ Hay que recordar, además (véase capítulo II, A.I.d), que nuestros valores referentes a los costos rusos expresados en moneda de Estados Unidos se basan en un cambio de 19 centavos de dólar por rublo, el tipo establecido después de la devaluación del rublo en 1936. Los costos de la electricidad en la U.R.S.S., expresados en la misma moneda, resultarían mucho más elevados de haberse utilizado el tipo anterior a dicha devaluación (50 centavos por rublo). Sin embargo, hemos mostrado que el tipo de cambio después de la devaluación era más apropiado para juzgar si la energía atómica podría competir con la energía térmica y en qué países; la proporción entre los costos de construcción de centrales de energía en la U.R.S.S. y los de Estados Unidos se acercaba más bien al tipo de después de la devaluación que al tipo que le precedió.

¹⁷ Podiera incluso aducirse que el precio medio de entrega del carbón, comparado con otros precios, era en la mayor parte de los Estados Unidos inferior en 1946, de lo que hubiera sido normal a la larga en el período de postguerra, porque la serie de aumentos de los fletes en la postguerra —que incrementaron los fletes del carbón en una media de cerca del 43 % hasta octubre de 1946— no comenzó hasta mediados de 1946. (Véase "Monthly Comment on Transportation Statistics", Comisión Norteamericana Interestatal de Comercio, 11 octubre, 1949.)

constituyan una aproximación más realista a las condiciones normales de la postguerra. (Véase también capítulo II, B.)

Según ya se vió, todos los costos de la planta térmica supuesta, salvo los del combustible, utilizados en las estimaciones del costo que figuran en el mapa 1, se expresan en términos de precios de 1946. Si en la evaluación del costo de producción se emplean precios del carbón de antes de la guerra en vez de precios de 1946 en Estados Unidos, los costos totales de producción estimados aumentan, por término medio, entre 10 y 20 %. El movimiento de los costos totales de generación (en milésimos de dólar por kilovatio hora) es aproximadamente el que sigue:

Basados en el precio del carbón en la preguerra	Basados en el precio del carbón en 1946 ¹⁸
4,5-5,0	5,0-6,0
5,5-6,0	6,0-7,0
6,5-7,0	7,0-7,5

El cambio más importante que se advierte al efectuar la comparación con la energía atómica es que, mientras la mayor parte de los costos indicados en el mapa, de acuerdo con los precios del carbón en la antes-guerra, están comprendidos entre 1 y 1,5 milésimos por debajo del costo intermedio estimado de la energía atómica, de acuerdo con los precios del carbón para 1946 muchos de los costos térmicos coincidirían con dicho costo intermedio.

B) SIGNIFICACIÓN DE LAS DIFERENCIAS EN LA COMPOSICIÓN DE LOS COSTOS TOTALES DE LA ENERGÍA ATÓMICA Y DE LA ENERGÍA ORDINARIA

Hasta aquí nos hemos limitado a comparar los costos *totales* estimados de la producción de energía atómica y de la producción de energía ordinaria en diversas regiones del mundo. Consideraremos ahora cómo las diferencias en la composición de los costos totales pueden afectar a la futura elección entre una y otra forma de energía.

1. Elementos del costo total: energía atómica y energía térmica ordinaria

En la última sección del capítulo I tratamos brevemente ciertas diferencias en la composición de los costos totales de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria que afectan a las comparaciones del costo entre una y otra, por ejemplo cuando se establecen diferentes hi-

¹⁸ Basado en los precios del carbón pagados por las plantas eléctricas en diferentes partes del país (Comisión Federal de Energía, *Steam-Electric Plant Construction Cost and Annual Production Expenses*, 1938-1947).

potencia acerca del tamaño de la planta y del factor de utilización de la capacidad. Una de las diferencias más notables consistía en la importancia relativamente mayor de las cargas fijas en el costo de la energía atómica cuando se la compara con la energía térmica. Esto implica, por ejemplo, que en el caso del costo atómico intermedio —entre 6,5 y 7,0 milésimos por kilovatio hora— (con un coeficiente de utilización de 90 %) el combustible constituya una partida del costo casi insignificante, mientras que en el caso de la energía térmica ordinaria, y para igual costo total, el combustible constituiría casi un 40 % de todos los costos. Correlativamente, para el mismo costo total, las cargas fijas (esto es, las cargas corrientes sobre instalación y equipo) constituirían cerca del 80 % de los costos atómicos y un 50 % aproximadamente de los costos térmicos ordinarios.

2. Tendencias en los elementos del costo de la energía atómica y de la energía ordinaria

Si las partidas que componen el costo, y cuya importancia relativa es diferente en la energía atómica y en la energía ordinaria, llegasen a presentar en el futuro diferentes tendencias, esto afectaría de modo significativo nuestras comparaciones del costo. Si, por ejemplo, el costo del combustible tendiera a subir, comparado con el costo de construir y equipar las centrales de energía, ello favorecería a la energía atómica y a la inversa.

No estamos en condiciones de predecir estas tendencias. La experiencia de la última década en Estados Unidos no proporciona ninguna indicación clara de cuáles han sido las tendencias del costo comparativo en los últimos años y menos aun puede proporcionar una base firme para predecir futuros cambios. Entre los años de preguerra y 1947 el costo medio por tonelada de combustible adquirido por las compañías de electricidad aumentó de 65 a 75 %; durante el mismo período, el costo de construcción y equipo de plantas eléctricas de vapor (cuyos cambios son mucho más difíciles de medir que en el caso de un producto homogéneo relativamente simple como el carbón) se estima que ha aumentado en cerca de 63 %. ¹⁹ Si bien los costos del carbón parecen haber aumentado

¹⁹ Consideramos la tendencia en los costos de construcción y equipo de las centrales eléctricas ordinarias como la mejor aproximación de que hoy cabe disponer acerca de las tendencias en los costos de los materiales y equipo que entrarán a formar parte de las centrales de energía atómica.

Las fuentes de información acerca del costo son: para el carbón consumido por las plantas eléctricas, *Statistical Bulletin*, 1947, Edison Electric Institute, Nueva York, junio 1948; para la construcción y equipo de las mismas, un índice preparado por Edwin H. Krieg, Ingeniero-jefe de Proyectos de la American Gas and Electric Service Corporation, "Progressive Engineering Offsets Increased Costs of Steam-Electric Power Generation", *Civil Engineering*, abril 1948, pp. 14-15. Debe hacerse

algo más rápidamente que el costo de las centrales eléctricas, no podemos tener la seguridad de ello, debido a la inseguridad de los índices de medida.

Hay dos factores significativos en la tendencia de los costos del carbón. Uno de ellos es la tendencia en los salarios y prestaciones sociales de los mineros. Entre 1939 y enero del 1949, la remuneración media por hora en la minería de carbón bituminoso aumentó a más del doble.²⁰ Aunque este porcentaje de aumento en el ingreso por hora de los mineros no difiere esencialmente del incremento en la correspondiente remuneración media en otras actividades industriales (conforme muestra, por ejemplo, el índice de ingreso por hora en todas las manufacturas, elaborado por la Oficina de Estadística del Trabajo), para nuestras comparaciones es un aumento muy significativo a causa de la importancia relativamente grande de la mano de obra en el costo del carbón. Por ejemplo, los salarios constituían el 60 % aproximadamente del valor del carbón en mina. No hemos podido llegar a deducir un factor análogo para la construcción y equipo de centrales eléctricas. Sin embargo, los salarios en la industria de motores y turbinas, industrias que producen una parte importante del equipo de la planta eléctrica, constituyen cerca del 25 % del valor del producto; aun incluyendo los salarios incorporados en los materiales consumidos en la manufactura de motores y turbinas, la relación entre salarios y valor del producto no excede de 40 %.²¹ Podemos esperar, pues, que una tendencia ascendente en los salarios respecto a los demás precios, aunque no fuese más pronunciada en la minería del carbón que en otras actividades industriales, favorecería en el futuro a la planta de energía atómica. Por otra parte, no debemos exagerar la magnitud de la posible ventaja. El costo del carbón constituye sólo una parte de los costos de generación de la energía termoeléctrica;

notar que el índice de Krieg muestra un incremento del costo considerablemente mayor que el indicado en un índice preparado en la Stone and Webster Engineering Corporation por William F. Ryan, "Power Plant Construction Costs and Implications", *Power Plant Engineering*, agosto 1947, pp. 116 y ss.

²⁰ Oficina de Estadística de Trabajo de E. U., *Handbook of Labor Statistics*, edición 1947, Washington, Gov. Printing Of. 1948, y *Monthly labor Review*, vol. 19, noviembre 1949.

²¹ La proporción entre salarios y valor del carbón fué calculada a base del *Census of 1940, Mineral Industries*, 1939, Oficina del Censo de E. U., vol. 1, Washington, 1944. La proporción entre salarios directos y valor de los motores y turbinas fué deducido del Censo de Manufacturas para 1939, vol. II, parte 2. La proporción entre salarios directos e indirectos (incluyendo los salarios incorporados en los materiales consumidos) y el valor de los motores y turbinas se basa en las cifras proporcionadas por Marvin Hoffenberg de la Oficina de Estadística del Trabajo de E. U.; dicha proporción se basa en un cuadro de relaciones interindustriales en Estados Unidos preparado en dicha Oficina (cf. el apéndice A de "Full Employment Patterns", Washington, 1946). La proporción adecuada por el Sr. Hoffenberg incluye sueldos y salarios; nosotros hemos estimado solamente el factor salario aplicando datos del Censo de Manufacturas de 1939.

a precios de 1946, representa entre 30 y 40 % de los costos totales de producción. Además, los salarios incorporados en los precios de entrega del carbón constituyen menos del 60 % del precio total, a causa de los costos de transporte en él incluidos. Finalmente, el aumento del costo del trabajo en la minería del carbón puede estar compensado por una mayor mecanización de las operaciones. (Véase más abajo, capítulo II, B. 1.) La otra tendencia que merece notarse es la del costo de transporte del carbón. Durante la postguerra una serie de aumentos en los fletes ferroviarios ha conducido, por término medio, a un incremento de 43 % en las tarifas correspondientes desde mediados de 1946. Sólo la mitad de este aumento se refleja en los precios del carbón pagados en 1947 por las plantas eléctricas, precios sobre los cuales se calculó el porcentaje de aumento antes citado.²²

La cuestión de los salarios mineros está íntimamente asociada con el número de horas trabajadas por semana y con el problema de disponer de un número adecuado de mineros. La extracción del carbón constituye una tarea ardua y peligrosa. En algunos países ha resultado difícil en el pasado reunir una fuerza de trabajo minera adecuada a base de los salarios y jornadas vigentes. Por ejemplo, antes de la guerra Francia y Bélgica tuvieron que proveerse de mineros procedentes de Polonia e Italia. Este problema no ha disminuído desde la guerra, y probablemente en el futuro será cada vez más difícil conseguir mano de obra de Europa Oriental. Un informe belga afirma que en la postguerra: "la situación [carbonera] se ve también complicada por la aparente desgana de los belgas hacia el trabajo subterráneo, con el resultado de que poco más de 1/3 de los arrancadores y menos de la mitad de los demás obreros que trabajan bajo tierra son de nacionalidad belga..."²³ Entretanto, también Inglaterra ha experimentado serias dificultades para conseguir un suficiente número de mineros para obtener el carbón que necesita.²⁴ Lo que a la larga es quizá más grave, es la creciente oposición entre los mineros británicos a que sus hijos trabajen en las minas de carbón.²⁵

²² Comisión Interestatal de Comercio de E. U., "Monthly Comment on Transportation Statistics", 15 agosto 1949; 11 octubre 1949, *op. cit.*

²³ *The Economist*, vol. 157, 10 septiembre 1949, p. 561.

²⁴ Véase, por ejemplo, *Labor and Industry in Britain*, vol. 5, septiembre-octubre 1947 (revista mensual publicada por el Servicio Británico de Información).

²⁵ El señor Herbert L. Matthews, después de una visita a una mina británica de carbón, dice en el *New York Times*, de 15 de junio de 1948; "No había espacio para permanecer erguidos. Entre los que inclinados y agachados se encontraban a mi alrededor, pregunté a los que tenían hijos si deseaban verlos entrar a trabajar en las minas. La respuesta fué un categórico "no", y fué éste un "no" que iba repitiéndose como un eco desde Rhondda Valley por los Midlands hasta Fifehire en Escocia".

3. Cambios tecnológicos en los combustibles ordinarios

La tendencia del costo del combustible ordinario en las próximas décadas puede verse afectada de modo significativo por cambios en la tecnología del combustible. Las minas pueden mecanizarse de un modo más completo, incluso en Estados Unidos donde la mecanización ha avanzado ya mucho más que en otros países. También son posibles cambios más radicales; estos giran en torno al hecho demostrado de que el carbón puede convertirse en gas, lo mismo en la superficie que bajo tierra, y que tanto el gas natural como el gas obtenido del carbón se pueden convertir en combustibles líquidos. Mucho se ha escrito acerca de este último conjunto de cambios que, según creen ciertos observadores, podría entrañar una "revolución del combustible".²⁶

Un análisis completo de las posibilidades de realizar semejante revolución y de sus consecuencias, rebasa nuestro propósito. Sin embargo, consideraremos brevemente cómo podría afectar las tendencias de costos por lo que se refiere a las fuentes ordinarias de energía utilizadas en la producción de electricidad. Distinguiremos para ello dos amplias (aunque parcialmente superpuestas) direcciones del cambio: 1) aquellos cambios que pretenden convertir los combustibles "non-premium", tales como el carbón, en combustibles de mejor precio, como la gasolina; 2) aquellos cambios introducidos con vista a reducir el costo de extracción o transporte del carbón.

La justificación económica para convertir combustibles sólidos y gaseosos en la forma líquida se apoya en la creencia de que el descubrimiento de pozos petrolíferos nacionales no se mantendrá al nivel del crecimiento de la demanda de combustibles líquidos. El objetivo es "satisfacer aquellas necesidades de combustible líquido ante las cuales el usuario no vacilará en pagar una prima sobre el precio del carbón, a igualdad de contenido de energía calorífica".²⁷

Aunque la conversión de carbón en combustible líquido puede llegar a ser con el tiempo económicamente practicable, otros cambios pueden tener precedencia.²⁸ Según el Dr. Robert E. Wilson, Presidente del Consejo de la Standard Oil Company (Indiana),²⁹ "en el pasado, buena parte de los residuos más pesados del petróleo se ha quemado en grandes plan-

²⁶ Véase, por ejemplo, una serie de artículos titulada "Coal" en *Fortune*, vol. 35, marzo y abril 1947.

²⁷ Robert E. Wilson, "Oil from Coal and Shale" en *Our Oil Resources*, redactado por Leonard M. Fanning, Nueva York, McGraw-Hill Book Co., 1945, pág. 214.

²⁸ La experiencia de la Pittsburgh Consolidation Coal Co., que cerró su fábrica piloto para producir gasolina sintética a partir del carbón después de 13 meses de funcionamiento, prueba hasta cierto punto (si bien no de manera decisiva) que la gasolina obtenida a partir de carbón no resulta hoy económica (*Business Week*, N° 1062, 7 enero 1950, pág. 26).

²⁹ Wilson, *op. cit.*, págs. 214-215.

tas eléctricas, compitiendo con el carbón a base de su contenido calorífico (BTU) por dólar, y una de las primeras cosas que ocurrirá, si se agrava la situación del suministro de petróleo, será la instalación de equipo para convertir estos residuos más pesados en combustibles líquidos más ligeros y más valiosos (incluyendo la gasolina)... En otras palabras, la aparición del proceso catalítico y de la hidrogenación está sacando a los aceites combustibles residuales del grupo de productos inevitables y dándoles un valor definitivo e importante como substitutos del petróleo crudo... cuando el precio del petróleo crudo aumente, dejarán gradualmente de utilizarse allí donde se encuentren en competencia directa de precios con el carbón... La combustión de aceites pesados en grandes plantas eléctricas fijas será lo primero que desaparecerá..."

Cuando los cambios descritos por Wilson no sean ya suficientes para satisfacer nuestras crecientes necesidades de combustibles líquidos más valiosos, se utilizará el siguiente método más barato para obtenerlos, y así sucesivamente. Según las actuales indicaciones de costos, el gas natural será la próxima fuente más barata. Sin embargo, la relativa escasez de recursos en gas natural indica que, en último término, el carbón o el petróleo procedente de esquistos, de los cuales poseemos extensas reservas, proporcionarían al menos una parte del combustible líquido que necesitamos.³⁰

Con esto, podemos ahora resumir el significado de los cambios tecnológicos que acabamos de describir respecto a las futuras tendencias en los costos de la energía eléctrica ordinaria. Con estos cambios se trata de aumentar la oferta de un combustible utilizado raras veces en las plantas eléctricas porque es excesivamente caro, habida cuenta de su contenido calorífico. Su éxito no reducirá el precio del combustible hasta el punto en que pueda utilizarse en una planta eléctrica; por el contrario, el éxito depende de los aumentos en su precio comparativo. En este sentido, dichos avances técnicos carecen de importancia para nuestras comparaciones del costo de la energía. Sin embargo, en tanto la producción de nuevos combustibles líquidos traiga consigo el mejoramiento de la calidad de los combustibles hoy utilizados en las plantas eléctricas —aceites combustibles de bajo grado, gas natural y quizá carbón, que serán absorbidos por otros consumidores y no por las plantas eléctricas—, ello provocaría una tendencia ascendente de sus precios, posiblemente hasta el punto de colocar el precio del petróleo y del gas fuera de las posibilidades de utilización en una central eléctrica. Esta dirección del cambio técnico, por consiguiente, tendería a hacer en el futuro, relativamente más costosos en vez de menos costosos, los combustibles que se usan en las plantas eléctricas ordinarias.

³⁰ Eugene Ayres, "The Fuel Problem", *Scientific American*, vol. 181, diciembre 1949.

La otra línea general de cambio tecnológico tiene por objeto reducir los costos de extracción del carbón y, posiblemente, los del transporte de su contenido energético. Uno de los procedimientos considerados consiste en una mecanización más completa de las minas; el otro, se basa en la gasificación del carbón, la cual se podría llevar a cabo bajo tierra o en la superficie, transportando el producto a los mercados a través de gasoductos.

En lo que concierne a los efectos de la mecanización, una apreciación muy optimista sostiene que el aumento de la productividad puede hacer que los precios del carbón en boca de mina vuelvan a su nivel de preguerra, con tal que el costo del trabajo en la mina no aumente en el interin.³¹ Con todo, si los salarios y prestaciones sociales de los mineros avanzan al mismo paso que la productividad —hipótesis más firme que la de salarios constantes— no se logrará evidentemente esta disminución del costo. Por supuesto, cualesquiera que fuesen sus efectos sobre los costos, el incremento de la productividad sería importantísimo para facilitar la solución del problema planteado por una oferta insuficiente de mano de obra para las minas.

Por lo que atañe a la gasificación bajo tierra, los expertos de la Oficina Norteamericana de Minas que han realizado experimentos con esta técnica (inicialmente aplicada en Rusia) informaron en 1949 en el sentido siguiente: "en la actualidad... sólo es posible teorizar acerca de la economía de la gasificación bajo tierra. Sin embargo, si mediante métodos análogos a los que se han utilizado en el experimento pudiera producirse un gas con valor calorífico de 125 BTU* por pie cúbico, el costo puede llegar a bajar hasta 14 centavos de dólar por millón de BTU producidas. Esto equivale a un costo de Dls. 3,50 por tonelada de carbón f.o.b. mina",³² que es casi igual, precisamente, al valor medio del carbón norteamericano en boca de mina en 1946. El contenido de BTU por pie cúbico es alrededor de $\frac{1}{8}$ del contenido en el gas natural, lo que indica que el carbón gasificado, no es ciertamente, transportable desde el punto de vista económico. Para que la gasificación, bajo tierra sea económicamente factible será preciso introducir grandes mejoras tanto en el costo de gasificación como (especialmente) en el contenido calorífico del gas, salvo en aquellos casos en los que hay depósitos carboníferos inexplorables por los medios ordinarios y que cuentan con un mercado local para el gas. Los peritos de la Oficina de Minas antes citada creen que tales perfeccionamientos son hacederos.

³¹ "Coal: The 'Pitt Consol' Adventure", *Fortune*, vol. 35, julio 1947, p. 140.

* Unidades térmicas británicas.

³² M. H. Fies y James L. Elder, "Laboratory and Field-Scale Experimentation in the Underground Gasification of Coal", artículo preparado para la Conferencia Científica de las Naciones Unidas sobre Conservación y Utilización de Recursos, 25 mayo 1949, p. 15.

El señor P. C. Keith, Presidente de la Hydrocarbon Research, Inc., es quizá el más entusiasta abogado de este proceso en Norteamérica. Su mayor esperanza (conforme declaró en 1947) era suministrar carbón gasificado en West Virginia a la ciudad de Nueva York (y, tal vez, a algún otro centro desde ésta y otras regiones mineras) a un precio que iguale al precio de entrega del carbón en términos de contenido energético. El señor Keith cree que la ventaja de costos que resulta de transportar por gasoductos gas que contenga 1.000 BTU por pie cúbico en vez de enviar el carbón por ferrocarril, podría bastar para compensar el costo adicional de tratamiento (en superficie) en que será necesario incurrir para obtener del carbón gas con un contenido tan alto en BTU.³³ Sin embargo, como ocurre con las propuestas para convertir carbón en combustible líquido, el éxito de la gasificación puede depender de que a causa de su conveniencia para muchos usos, el gas obtenga una prima de precio, comparado con el carbón.³⁴

En consecuencia, puede concluirse que los avances técnicos hasta hoy concebidos respecto a los combustibles ordinarios, si bien son espectaculares en algunos casos, no proporcionan indicación clara alguna acerca de cómo resultará afectado el costo comparativo de la energía obtenida a partir de las fuentes energéticas ordinarias. Ciertos tipos de cambio encaminados a aumentar la productividad en la producción y transporte del carbón (en forma de gas) pueden permitir que la energía ordinaria mantenga, o quizá mejore, su precio relativo de 1946. Por otra parte, el posible desarrollo de la producción de combustibles líquidos sintéticos sugiere que ciertos combustibles hoy utilizados en la producción de electricidad —incluyendo tal vez el carbón— pueden llegar a ser con el tiempo relativamente más costosos a causa de su nueva importancia como fuentes de combustibles con primas de precio.

4. Significación en distintos países de la diferente composición de los costos totales

Las variaciones en la composición de los costos totales de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria con respecto a las cargas fijas y al costo del combustible, pueden ejercer un efecto importante sobre las comparaciones económicas en diferentes países.

³³ "Coal: The Fuel Revolution", *Fortune*, vol. 35, abril 1947, p. 243.

³⁴ "Coal: The 'Pitt-Consol' Adventure", *op. cit.*, p. 143. Véase también la opinión de Nelson Lee Smith y Harrington Wimberly, de la Comisión Federal de Energía: "Aparte de las perspectivas de que se obtenga como subproducto de otras operaciones, las condiciones económicas que ofrece el gas fabricado a partir del carbón no son favorables ni lo serán hasta que el precio del gas combustible exceda el precio del carbón." (*Natural Gas Investigation*, Extracto N° G-580, Washington, Gov. Printing Of. 1948, p. 460).

a) **INTERÉS SOBRE LA INVERSIÓN.** En nuestras comparaciones de costos se ha supuesto la misma proporción de cargas fijas en todos los países. Es posible, sin embargo, que dicha proporción fuera mayor en países económicamente poco avanzados que en Estados Unidos, debido a que la mayor escasez de capital en tales países traería consigo cargos más altos en concepto de intereses. Si en ciertos países la proporción de cargas fijas fuese mayor que la supuesta, ello favorecería a la energía térmica ordinaria comparada con la energía atómica a causa de la menor importancia relativa de los cargos fijos dentro de los costos totales de la energía térmica.³⁵

Los ejemplos del cuadro 7 para dos niveles hipotéticos de inversión en energía atómica, indican cómo los cambios en las tasas de interés afectarían a nuestras comparaciones del costo. En un país en el cual el tipo de interés sea, por ejemplo, el doble del que hemos supuesto, la energía atómica costaría entre 1.5 y 2 milésimos de dólar más de lo que hemos estimado por KWH producido. Por lo tanto, mientras que según nuestros cálculos los costos por KWH producido serían equivalentes cuando el precio del carbón es entre Dls. 6.50 y Dls. 8.00 por tonelada y la inversión en energía atómica es de Dls. 215 por kilovatio, si se duplica el tipo de interés los costos serán equivalentes cuando el precio del carbón sea de entre Dls. 8.00 y Dls. 9.50 por tonelada, y así sucesivamente.

Aunque debe tenerse en cuenta que el tipo de interés puede ser mayor en otros países que en Estados Unidos, importa advertir que la proporción de cargas fijas no aumentaría necesariamente en la cuantía exacta correspondiente al incremento del interés. La proporción de un 11 % por cargas fijas, que hemos admitido para Estados Unidos se compone de un 3 % de interés, un 4 % por depreciación y obsolescencia y un 4 % por cargas diversas. Los impuestos y derechos, que constituyen una buena parte de las cargas diversas, reflejan principalmente el marco legal e institucional dentro del cual opera la industria eléctrica norteamericana. No existe razón alguna fundamental para que estas cargas sean iguales en otros países. Por ejemplo, podrían ser considerablemente más bajas si

³⁵ Cf., por ejemplo, Isard y Lansing, *op. cit.* Deben advertirse dos importantes excepciones a esta generalización. 1) En países atrasados la construcción de plantas termoelectricas tal vez sugiere también una cuantiosa inversión en minas de carbón y ferrocarriles, parte de la cual podía evitarse con el uso del combustible nuclear. En este caso, la diferencia entre la inversión directa por kilovatio de capacidad en las dos clases de plantas no constituiría una medida adecuada de la ventaja de la planta térmica en lo que concierne al costo neto de capital. 2) Es aún discutible que la inversión por kilovatio de capacidad atómica haya de ser mayor que por kilovatio en plantas hidroeléctricas. El costo de capital de las plantas hidroeléctricas varía mucho de uno a otro proyecto y generalmente sobrepasa al correspondiente a la energía térmica ordinaria. (Sobre ambos puntos, véase capítulo XIV, D.I.).

hubiera una política nacional dirigida a estimular el desarrollo de la industria eléctrica.³⁶

CUADRO 7. Efectos de diferentes tasas de interés sobre las comparaciones entre los costos de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria

Inversión supuesta por kilovatio de capacidad	Energía atómica		Energía térmica	
	Costo de la energía eléctrica producida, con un coeficiente de utilización de la capacidad de 50 % ^a (en milésimos de dólar por KWH)		Precio del carbón, que daría el mismo costo por KWH que en las columnas (2) y (3) con un coeficiente de utilización de la capacidad de 50 % ^a (en dólares por tonelada corta)	
	al 3 % de interés	al 6 % de interés	al 3 % de interés	al 6 % de interés
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dls. 215	6.5-7.0	8.0-8.5	\$6.60-\$7.90	\$8.15-\$9.50
Dls. 415	10.2	12.3	\$16.30	\$19.50

^a Excepto el interés, todos los demás costos se basan en los factores indicados en el capítulo II, A.I.a.

b) **NECESIDADES CAMBIARIAS.** Ciertos países no poseen recursos nacionales de energía adecuados para satisfacer futuras necesidades. Entre ellos figuran no sólo regiones económicamente atrasadas, sino también países altamente industrializados en los que exista ya poco margen para una ulterior expansión de la producción de energía a base de los recursos nacionales. Estos países tendrán que importar combustibles a fin de aumentar su producción futura de energía. Sin embargo, la importación de combustibles en grandes cantidades puede ser relativamente costosa debido a la gran distancia a que, frecuentemente, es necesario efectuar el transporte y, lo que es aún más importante, a causa de que tales compras, que deben pagarse en moneda extranjera, pueden ser difíciles de financiar según sea la balanza de pagos del país en cuestión. El costo del transporte está comprendido en los costos estimados que se indican en el mapa 1. Consideraremos ahora el problema adicional que representa el financiamiento de compras en el extranjero y las posibles ventajas de la energía atómica en este aspecto.

³⁶ Es interesante notar en relación con esto que existen pruebas de que los rusos en los cálculos de costo de la energía hidroeléctrica utilizan una proporción mucho menor de cargas fijas de lo que es común en Estados Unidos. (Véase *Electric Power Development in the U.R.S.S.* pp. 445 y ss.) Cabría objetar que los rusos, al utilizar una proporción menor, no miden sus costos reales —que, por ejemplo, no asignan un tanto por ciento de interés adecuado teniendo en cuenta la escasez de capital—, pero aunque así se arguya, ello no altera su sistema de contabilidad.

Los mapas 2 y 3 revelan una extrema desigualdad en la distribución de las fuentes ordinarias de energía entre los diferentes países del mundo. Ambos mapas, naturalmente, están basados en los recursos conocidos; el aspecto que presenta la distribución de éstos puede cambiar algo con futuros descubrimientos.³⁷ Además, la producción de combustibles que figuran en los cuadros 5 y 6 puede aumentar de modo substancial en ciertas áreas que en la actualidad explotan sólo una fracción del rendimiento potencial anual de sus recursos conocidos.

El posible descubrimiento de nuevos recursos de petróleo puede ser particularmente importante. Con frecuencia se han descubierto nuevos campos y esto ha entrañado un cambio radical de los centros de producción. Dentro de Estados Unidos, por ejemplo, se ha podido observar un desplazamiento desde los campos de Pennsylvania a los de Texas, Oklahoma y California. En una escala mundial, el pasado predominio de Estados Unidos en la producción total del mundo está disminuyendo y el futuro verá probablemente cómo el Oriente Medio y Venezuela llegan a ser cada vez más importantes. Además, en 1946 se descubrieron extensos yacimientos en la provincia de Alberta en el Oeste del Canadá, lo que representa otro ejemplo de cambio de situación.

El cambio de panorama se aplica en menor escala a la minería del carbón. Aunque la existencia geológica de yacimientos carboníferos es mejor conocida que la de campos de petróleo, todavía se siguen descubriendo nuevos yacimientos de carbón y se modifican las antiguas estimaciones de recursos (aunque no siempre hacia arriba). Por ejemplo, durante las dos últimas décadas se han descubierto buen número de nuevos yacimientos en la U.R.S.S., y no es improbable que investigaciones sistemáticas dieran lugar a resultados semejantes en otras partes del mundo. También ha habido un desplazamiento de relativa importancia de los centros de producción. Ciertamente es que las viejas áreas mantienen su importancia durante largos períodos, pero al extenderse la industrialización aumenta la producción de otras áreas. La producción está aumentando rápidamente en la U.R.S.S., en parte porque se explotan yacimientos hasta ahora no trabajados. La producción en la Unión Sudafricana se ha duplicado en una década, aunque es todavía relativamente pequeña. Es muy posible que la producción rebase con mucho el presente nivel en varios países de Asia.

Por todas estas consideraciones, sería desacertado deducir que todas las zonas que en la actualidad no cuentan con producción suficiente de combustible nacional han de carecer del mismo en el futuro. Además, la producción de energía eléctrica puede basarse en combustibles de bajo poder, por ejemplo la turba, que existe en muchas regiones. Pero si bien

³⁷ En relación con esto, véase el párrafo final de la nota 11 de este capítulo.

el futuro desarrollo puede alterar los pormenores de este panorama, la ~~concentración~~ conocida de recursos indica que también en el futuro existirán muchas áreas sin suficiente combustible local.

La determinación de los países en los que las fuentes nacionales de ~~energía~~ serán insuficientes para satisfacer sus necesidades futuras ha de basarse en un análisis de las regiones más detallado del que hemos hecho nosotros. Sin embargo, como ejemplos de países que probablemente quedan incluidos dentro de esta categoría podemos indicar los siguientes:³⁸ Argentina y Brasil, cuyos recursos combustibles son insignificantes y en los que hay muchos grandes centros de población alejados de las fuentes potenciales de energía hidráulica; países como Dinamarca, o el grupo Norteafricano que incluye Marruecos, Argelia, Túnez, Libia, etc., con recursos térmicos e hidráulicos muy pequeños; Hungría, que dentro de sus fronteras cuenta tan sólo con fuentes de combustibles pobres y de extracción costosa y con una energía hidráulica potencial insignificante; países como Italia, Austria y Suiza, cuyos recursos en combustibles son de escasísima importancia, y cuya producción eléctrica ha estado basada en el pasado principalmente en la energía hidráulica, pero en los que un futuro aumento en el aprovechamiento de la energía hidráulica será cada vez más difícil debido a la elevada fracción del potencial ya explotado; y quizá países como el Reino Unido, donde puede ser difícil mantener en el futuro los suministros de combustible, amplios en el pasado, y cuyo potencial hidráulico es también insignificante.

La energía atómica puede ser extraordinariamente importante para aquellas naciones que tengan que importar combustible del tipo corriente. La distribución internacional de las fuentes de combustible nuclear es, con toda probabilidad, muy diferente de la que presentan las otras fuentes de energía. Brasil, por ejemplo, carece de carbón y otros combustibles minerales, pero posee extensos recursos en torio. No podemos decir ahora, debido a la escasa información sobre las fuentes de uranio y torio, hasta qué punto serán importantes estas diferencias en la distribución de recursos.³⁹

³⁸ En la selección de países utilizamos dos criterios generales: a) los recursos nacionales de combustible económicamente transportable no son suficientes, a nuestro juicio, para satisfacer necesidades potenciales; y b) existe un potencial hidráulico insignificante, o se ha explotado ya una fracción tan elevada del potencial, que quedan con ello seriamente limitados los futuros aprovechamientos, o existen muchos centros de población excesivamente alejados para ser servidos económicamente desde los lugares donde se puede disponer dotados de recursos hidráulicos. En ningún país se incluye si se pueden producir, dentro de sus fronteras naturales, combustibles económicamente transportables y en cantidad suficiente para satisfacer futuras necesidades, incluso cuando entra en juego el transporte a larga distancia desde el punto de producción a las regiones consumidoras importantes. En este caso, claro está, los costos de transporte del combustible quedarían comprendidos en las cifras indicadas en el mapa 1.

³⁹ Cf. el análisis en el Capítulo I, B.

Lo que acaso puede ser todavía más importante es que países deficitarios en combustible, podrán comprar uranio y torio metálicos a un costo prácticamente despreciable comparado con el de los combustibles ordinarios. Conforme hemos visto, una libra de uranio, que cueste, quizá, alrededor de Dls. 50, rendiría, una vez consumida por completo, tanta energía como 1,250 toneladas de carbón.

La magnitud del ahorro en divisas extranjeras que resulte de la importación de uranio en vez de carbón, depende del equipo necesario para la producción de energía atómica que se pueda producir en el propio país. Por ejemplo, cabe esperar que Gran Bretaña pueda construir y equipar por sí misma centrales de energía atómica poco después de que se haya desarrollado la tecnología necesaria. Por otra parte, es probable que los países económicamente atrasados tengan que importar buena parte del equipo, quizá durante décadas. Pero incluso para esta última clase de países, la utilización de energía atómica puede traer consigo un ahorro substancial de divisas, según indica el siguiente cálculo hipotético relativo a la Argentina, que tomamos como ejemplo.

1) De acuerdo con el mapa 1, los costos de la energía en la Argentina para nuestra hipotética planta de energía térmica estarían comprendidos entre 7 y 8,5 milésimos de dólar por KWH. Si la inversión en energía atómica fuese de Dls. 215 por kilovatio,⁴⁰ ello igualaría justamente el costo de la energía térmica más barata en dicha nación, suponiendo precios (1937) del carbón de unos Dls. 8 por tonelada en las ciudades portuarias.

2) La inversión en energía atómica a razón de Dls. 215 por kilovatio sería Dls. 85 mayor por kilovatio de capacidad que la inversión en energía térmica ordinaria. Supongamos que toda la diferencia se debe a equipo que será importado y pagado mediante un empréstito exterior. Supongamos también que el interés es de 6% y que la amortización debe efectuarse en un período de 25 años. En estas condiciones, las cargas totales anuales por kilovatio de capacidad representarían un 10 % de \$ 85 es decir, \$ 8,50.⁴¹

3) En la hipótesis de que el equipo generador trabajara, en promedio, al 50 % de su capacidad, un kilovatio de capacidad producirá 4,380 KWH en el curso de un año. Una planta térmica moderna, incluso con un rendimiento térmico extraordinariamente alto (10,000 BTU por KWH), consumiría cerca de 1,7 toneladas de carbón de alto contenido para producir 4,380 KWH. Esta cantidad de carbón hubiera costado unos Dls. 13.50 a precios de 1937.

⁴⁰ Cf. Capítulo I, C. 2.

⁴¹ Suponemos que la reducción absoluta de los pagos por interés a medida que se amortiza el préstamo, se vería con el tiempo compensada por la importación de ciertas piezas de recambio y de materiales de operación.

4) Por consiguiente, el desembolso anual de divisas por el funcionamiento de una planta térmica sería de Dls. 5.00 más por kilovatio de capacidad que en la planta de energía atómica. Las ventajas de esta última en este aspecto se verían ligeramente reducidas por la necesidad de importar uranio o torio. Dado que con uranio o torio a Dls. 50 la libra, ello equivaldría a unos 10 centavos por 4,380 KWH, la ventaja a favor de la planta atómica es de Dls. 4.90 por kilovatio de capacidad.

5) Para que la energía térmica requiriese, en estas circunstancias, un desembolso anual de divisas tan pequeño como la energía atómica, el precio del carbón por tonelada en puerto argentino tendría que ser de Dls. 5.00.

CUADRO 8. Energía atómica y energía térmica ordinaria comparadas según dos criterios: costos totales de producción y necesidades de divisas^a

Inversión supuesta por kilovatio de capacidad	Energía atómica ^f		Energía térmica ^f	
	Costo total de la energía eléctrica producida ^b (milésimos de dólar por KWH)	Desembolso anual de divisas por kilovatio ^c de capacidad	Precio por tonelada corta de carbón que daría: ^d	
			El mismo costo por KWH que en la columna (2)	El mismo desembolso de divisas que en la columna (3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
\$215	6.5-7.0 ^e	\$ 8.60	\$6.60-\$7.90 ^e	\$ 5.00
\$115	10.2 ^e	\$18.60	\$16.30 ^e	\$11.00

^a En el supuesto de que un país importara combustible para las plantas térmicas o equipo para las atómicas.

^b Supuesto un tipo de interés de 3 % conforme a las estimaciones del mapa 1; en la columna (1) se supone un interés de 6 %.

^c Calculado a base del 10 % de inversión adicional en energía atómica comparada con la energía térmica ordinaria. Se incluyen también 10 centavos para importar el uranio necesario para producir 4,380 KWH de energía eléctrica. (Cf. los pormenores en el texto).

^d En el supuesto de que se necesitarían 1.7 toneladas de carbón para producir 4,380 KWH de energía eléctrica.

^e Evaluado según los factores indicados en el capítulo II, A.I.a.

^f Supuesto que la planta funcione al 50 % de su capacidad.

En el cuadro 8 se resumen los elementos principales del anterior ejemplo y se presenta, además, un distinto conjunto de comparaciones del costo. Generalizando: en aquellos países que tendrían que elegir entre plantas térmicas que requieren una continua importación de carbón y plantas de energía atómica que exigen una mayor importación inicial de equipo pero importación continua de combustible insignificante, el desembolso anual de divisas sería considerablemente menor en el caso de la planta atómica, aun cuando los costos totales en ambos tipos de plantas sean

iguales. O, para decirlo de otra manera, mientras que sobre la base de una comparación de los costos totales, la energía atómica a Dls. 215 por kilovatio de capacidad no podría competir con carbón que cueste menos de Dls. 6.60 por tonelada, sobre la base de una comparación desde el punto de vista de las divisas podría competir con carbón cuyo costo fuese de Dls. 5.00 por tonelada. Análogamente, mientras la energía atómica a Dls. 315 por kilovatio de capacidad no podría competir, en cuanto a costos totales, con carbón a un costo inferior a Dls. 16.30 por tonelada, considerando sólo los requerimientos de divisas podría competir con carbón a Dls. 11.00 por tonelada. Por supuesto, la ventaja de la energía atómica en este aspecto aumentaría si *a)* subiera el precio relativo del combustible ordinario y *b)* no todos los costos de construcción de los aparatos atómicos representar importaciones.

e) CONCLUSIONES. Acabamos de ver que las diferencias en la composición de los costos totales pueden tener consecuencias importantes en relación con las comparaciones entre la energía atómica y la energía ordinaria. Por otra parte, un tipo de interés más elevado en países económicamente atrasados, haría menos favorables a la energía atómica nuestras comparaciones del costo. Pero en países cuyos recursos energéticos nacionales son deficientes, atendiendo sólo a las necesidades de divisas, nuestras comparaciones del costo serían más favorables a la energía atómica, incluso con el tipo de interés más elevado.

Al evaluar el peso relativo de estos dos factores en lo que concierne a una futura elección entre la energía atómica y la energía procedente de los combustibles ordinarios en diferentes países, ha de tenerse en cuenta estos hechos. Las altas tasas de interés favorecen a la planta ordinaria; esos pagos de interés son parte de las cargas totales fijas, que incluyen ciertas partidas determinadas por la ley y la costumbre; conforme ya señalamos, en ciertos países el alto tipo de interés podría posiblemente compensarse gravando otras partidas de las cargas fijas a tipos más bajos de los usuales en Estados Unidos. Por otra parte, el bajo costo del combustible atómico, que da a la energía atómica la ventaja sobre la energía térmica ordinaria en lo que concierne a divisas, es un resultado primario del enorme contenido energético del uranio por unidad de peso, circunstancia física ésta que no es probable pueda ser contrarrestada por diferencias institucionales entre los distintos países.

Cabe, pues, decir que para países pobres en recursos ordinarios de energía, las posibles ventajas en cuanto a divisas pesarían considerablemente en favor de la energía atómica, mientras que para países atrasados con abundantes recursos energéticos, la escasez de capital y, en consecuencia, los tipos de interés más elevados que en Estados Unidos, favorecerían la energía térmica ordinaria. Aunque no cabe dar una respuesta

definitiva a esta cuestión decisiva, quizá pueda enseñarnos algo la historia de la energía hidroeléctrica, la cual, a pesar de requerir en general una inversión superior a la que exige la energía térmica, se ha venido usando ampliamente, incluso en regiones atrasadas.⁴² Es significativo que el ahorro de divisas, divisas que de otra manera se gastarían en la importación de combustible, se presenta a menudo como una razón fundamental para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos.⁴³

Hemos intentado en este capítulo descubrir los elementos que determinan hasta qué punto la energía atómica puede competir, en una área geográfica dada, con la que procede de otras fuentes. El nivel relativo de los costos, o la disponibilidad relativa de las varias fuentes productoras de energía, es uno de los factores que establece si una área dada puede llegar a ser consumidora de energía atómica. Otros factores son aquéllos que fijan la demanda de energía con independencia de su fuente. Estos factores son el poder adquisitivo de la colectividad que puebla el área y la presencia o ausencia de materias primas o mercados para artículos y servicios especiales que consumen mucha electricidad y pueden venderse dentro o fuera del área. Conforme se indicó en el prólogo, el mapa 4 da la distribución geográfica de la población mundial como una primera, aunque muy imperfecta, aproximación de la distribución del poder adquisitivo. En lo que concierne a las industrias consumidoras de energía, en la parte segunda, a la que pasamos seguidamente, intentaremos evaluarlas en su carácter de posibles compradoras de energía atómica, principalmente en Estados Unidos.

⁴² La energía hidroeléctrica, naturalmente, posee por lo menos dos importantes características: *a)* la mayor parte de la instalación tiene una vida muy larga por lo que la tasa de depreciación es relativamente baja y *b)* a menudo se aprovecha para servir múltiples propósitos, por ejemplo, irrigación, control de avenidas, navegación y generación eléctrica. Recuérdese también que la planta atómica es asimismo de múltiples propósitos, aunque no económicos sino militares.

⁴³ Ver, por ejemplo, los boletines del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento en los que anuncia el otorgamiento de préstamos para diversos proyectos hidroeléctricos en Brasil y El Salvador. (Boletines n^{os} 126 y 162, enero 27 y dic. 14, 1949).

SEGUNDA PARTE

La energía atómica en distintas industrias

III. EL ANÁLISIS DE LAS INDUSTRIAS: SÍNTESIS

En la parte primera de este libro limitamos nuestro análisis a cuestiones relacionadas con el suministro de energía. Investigamos el costo y otras características económicas de la energía atómica e intentamos determinar, mediante comparaciones con las fuentes ordinarias de energía, si la energía atómica podía reemplazar o suplir los recursos ordinarios de energía en ciertas regiones del mundo. Pasaremos ahora, del problema de la cantidad de energía al problema de su utilización, en un intento de determinar qué efectos puede tener la energía atómica sobre distintas industrias consumidoras de energía. En los análisis por separado que siguen en los capítulos IV hasta el XII se examina con cierto detalle la importancia de la energía en determinadas industrias y la forma en que pueden resultar afectadas por el desarrollo de la energía atómica comercial. En el presente capítulo se ofrece una base para estos análisis y se resumen los resultados más importantes de los mismos.

A) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. *Objetivos del análisis por industrias*

Una serie de análisis industriales como los que estamos a punto de emprender, persigue dos amplios fines. / Debe proporcionar información para esbozar el curso que tomarán ciertas industrias por separado bajo el impacto de la energía atómica. Esto es obvio. Debe también ayudarnos a comprender los efectos generales de dicha energía sobre la economía en su conjunto. Las soluciones a los problemas que queremos plantear acerca del impacto de la energía atómica sobre la economía de Estados Unidos y otros países, —y, a decir verdad, en ciertos casos el simple planteamiento de tales problemas— solo puede encontrarse, en buena parte, en un análisis detallado industria por industria.

Estos capítulos no constituyen sino una iniciación al tipo de análisis que tendremos que emprender si queremos comprender las consecuencias económicas de la energía atómica. Su mayor valor reside, quizá, en la formulación de las cuestiones pertinentes a las distintas industrias y en la construcción de un armazón analítico que permita tratar esas cuestiones; en la reunión y análisis tentativo de los datos económicos y técnicos que permitan ordenar de modo preliminar las industrias entre aquellas que como resultado de la energía atómica pueden sufrir efectos importantes y aquellas que probablemente no los sufrirán; y en el conocimiento de los efectos generales de la misma en los sistemas económicos de Estados Unidos y otros países.

2. Principales cuestiones que se plantean en el análisis de las industrias

Aunque en este análisis hemos intentado ceñirnos a un esquema uniforme, hemos tenido que modificarlo de varias maneras debido a que cada industria es, en ciertos aspectos, única. La importancia atribuida a aspectos diferentes del análisis varía entre una y otra industria, y los problemas a que intentamos hallar solución no siempre son los mismos. Sin embargo, la mayor parte de las industrias poseen un origen común en tres cuestiones fundamentales que absorben nuestro interés principal.

La primera de ellas es obvia. Dado que puede llegarse a disponer de energía atómica a un costo más bajo que el de algunas de las fuentes de energía generalmente utilizadas en la actualidad, cabe preguntarse si experimentarán o no reducciones en el costo, como resultado de su utilización, aquellas industrias en las que la energía es un elemento importante.

La segunda cuestión está relacionada con la primera. En algunas industrias en las que el costo de energía es importante, probablemente no se puede usar la energía atómica sin determinados cambios en las técnicas de producción. Los únicos procesos de producción en los que evidentemente se puede utilizar energía atómica sin cambio alguno son aquellos que hoy se basan en la electricidad, ya que en general se supone que la energía atómica comercial aparecerá en forma de energía eléctrica. Otros procesos, ahora basados en la combustión de combustibles ordinarios (por ejemplo, la calefacción en las casas) o en reacciones químicas particulares (por ejemplo, la fundición de hierro) requerirán algunos cambios. Con relación a estas industrias nos preguntamos: ¿fomentará la energía atómica la introducción de nuevas técnicas productivas?

Un rasgo exclusivo de la energía atómica es que no estará caracterizada por esas variaciones regionales del costo, que constituyen una nota común a todas las fuentes de energía hoy empleadas. La razón es bien simple: el combustible atómico posee tan elevada concentración de energía por unidad de peso, que podemos decir que, para todas las finalidades prácticas, es un combustible sin peso cuyo costo de transporte es nulo. Claro está que aún pueden presentarse variaciones geográficas en los costos de la energía como consecuencia de factores tales como las diferencias en el tamaño de las centrales eléctricas, o en los costos de construcción de centrales de determinado tamaño y así sucesivamente; pero es de esperar que estas variaciones sean pequeñas, y posiblemente de corta duración, comparadas con la variación de los costos de transporte del carbón y las diferencias naturales que rigen el costo y disponibilidad de la energía hidráulica.

La probabilidad de que el costo de la energía atómica tienda a ser geográficamente uniforme sugiere la tercera cuestión principal que de-

hemos considerar en los capítulos siguientes. La disponibilidad, en algunas industrias, de combustible y energía a bajo costo, o la disponibilidad de un combustible excepcionalmente conveniente, ha sido un factor de gran importancia en la elección del lugar de localización de la industria. Se plantea con esto la cuestión de si, bajo la influencia de un costo virtualmente igual en todas partes, como el de la energía atómica, la distribución locacional cambiaría en estas industrias a favor de nuevos sitios que poseen ventajas no ofrecidas por áreas próximas a sitios donde hay energía y combustible a bajo costo.

El análisis por industrias se centra, por lo tanto, en tres cuestiones fundamentales: 1) la posible reducción del costo en industrias que hoy consumen mucha energía por unidad de producto; 2) la posibilidad de que la energía atómica a bajo costo estimule cambios de proceso, en virtud de los cuales ciertos métodos basados en aquella energía sustituirían a la combustión directa del combustible u a otros métodos químicos hoy en uso; y 3) la posibilidad de que ciertas actividades fabriles cambien de localización como resultado de una mayor uniformidad geográfica de los costos de la energía. Los efectos que la energía atómica pudiera tener sobre cada industria en particular a menudo caerán en dos de estas categorías generales, dado que un cambio de proceso puede producirse en conjunción con cualquiera de los otros dos cambios posibles.

Otros dos puntos merecen notarse. Al comparar un nuevo procedimiento de producción basado en la energía atómica con un método hoy corriente y al comparar la nueva situación de un centro de producción con la de otro ya existente, utilizamos los costos totales como medida apropiada, salvo observación en contrario. Parte del costo total con los métodos existentes y en la localización actual de las industrias en cuestión, representa costos "corrientes" sobre una inversión fija. Puesto que la inversión no puede recuperarse, estos costos no deben tenerse en cuenta en ninguna comparación que se haga de las fábricas existentes con las nuevas fábricas. En la práctica, por consiguiente, cuando hablamos de cambios de localización o de procesos, pensamos, por regla general, en una situación en la que se trata de crear nuevas instalaciones para atender a un incremento de demanda o para sustituir a otras instalaciones existentes pero ya gastadas.

El lector debe también tener en cuenta que (salvo indicación en contrario) nuestros cálculos sobre la relocalización de las industrias suponen que las partidas más importantes del costo, aparte de la energía, son iguales en la localidad hipotética que en la anterior. Lo hacemos así porque, en general, no pueden conocerse las cifras de costos en las nuevas localizaciones, excepto mediante un estudio a fondo de una localidad determinada, tarea muy superior a nuestros recursos. Los sitios que elegimos en nuestro ejemplo no deben, por ende, tomarse como lugares precisos en

los que se puedan desarrollar nuevos centros de producción, puesto que otros costos pudieran ser desfavorables. En rigor, se pretende tan sólo ilustrar el tipo de regiones a donde podría desplazarse la producción, sujeta la neutralidad de los otros costos.

3. Significación de los análisis de industrias para cuestiones económicas más generales

En la tercera parte se analizan los efectos económicos generales del desarrollo de la energía atómica, y se estudian algunos ejemplos tomados del análisis de las industrias. Nos limitaremos a señalar aquí algunos puntos, cuya importancia trasciende el análisis de las distintas industrias, para orientar al lector cuyo interés fundamental se centra en la industria en general.

Las cuestiones económicas generales a cuya comprensión nos puede ayudar al análisis de las distintas industrias pueden agruparse en dos categorías: 1) ¿Cuáles son los efectos de la utilización comercial de la energía atómica en lo que atañe a la economía de recursos? y, 2) ¿Qué nuevos impulsos podría comunicar al progreso económico? Una y otra categoría no se excluyen entre sí, puesto que el impulso comunicado al progreso económico puede aparecer, en primer lugar, como un efecto economizador de recursos. Lo que perseguimos al distinguir entre esos dos puntos es indicar en qué partes creemos que el impulso progresivo puede ser particularmente importante.

a) LA ECONOMÍA DE RECURSOS. Intentemos ver primero lo que el análisis de las distintas industrias puede aclararnos acerca de los efectos de la energía atómica sobre el ahorro de recursos en la economía en su conjunto. Una manera menos detallada de estimar las potencialidades de la energía atómica en este respecto —y es éste un método que se ha utilizado con frecuencia— consiste en ver cuál es la cantidad total de electricidad producida en Estados Unidos y estimar cuál pudiera ser una razonable reducción del costo unitario como resultado de la energía atómica. El producto de la multiplicación de la producción total de electricidad por la reducción de unidad de costo se usa para estimar el ahorro de costo (es decir, ahorro de recursos) en toda la economía.

Pero esta manera de enfocar la medición de la economía de recursos tiene un grave inconveniente. Es decir, el nivel de demanda de energía atómica puede exceder, con mucho, al que de otro modo hubiera sido el nivel de demanda de una electricidad más cara, en particular como resultado de cambios inducidos en los procesos de fabricación que permitan emplear la energía nuclear como fuente principal de energía en aquellos procesos industriales en que la electricidad de costo más alto

no puede competir hoy con éxito. El cálculo de la economía de recursos que tendría que hacerse por esta razón, dependería de la medida en que el cambio en los procesos redujese los costos de producción en las industrias afectadas.¹ A decir verdad, nuestras investigaciones preliminares no nos proporcionan una medida definitiva de la economía de recursos, pero aclaran de modo valioso los posibles efectos del cambio de proceso sobre la reducción del costo.

b) DESARROLLO ECONÓMICO. Es difícil prever dónde, precisamente, se pueden dejar sentir importantes impulsos para el desarrollo económico en nuestro país y en otras naciones como resultado de la energía atómica. Por ejemplo, pueden presentarse grandes posibilidades en los efectos que la innovación tendrá sobre ciertas industrias. Reducciones inusitadas del costo en una industria pueden preparar el terreno para un rápido crecimiento de la misma y de otras industrias con ella relacionadas. Existe también la posibilidad de que los cambios en los procesos de producción provocados por la energía atómica originen nuevas actividades industriales orientadas a satisfacer las necesidades de nuevos tipos de equipo industrial, nuevas prácticas de ingeniería, etc. Sin duda alguna, el impacto de la energía atómica no se percibirá por completo hasta tanto surjan estas nuevas actividades industriales y proporcionen los métodos, plantas y máquinas que puedan realizar las posibilidades inherentes a una energía atómica de bajo costo.

Nuestro análisis industrial proporcionará alguna indicación acerca de la importancia de estos efectos. En particular, el cambio de procesos emerge como una posibilidad importante en muchas de las industrias que examinamos; parece razonable creer que la energía atómica proporcionará un fértil campo para el desarrollo de nuevos tipos de actividades industriales que acaso contribuyan de manera importante al progreso económico continuo de Estados Unidos y otros países.

La energía atómica pudiera también poner en juego por lo menos dos factores claramente nuevos que tienen potencialmente gran importancia para el desarrollo económico mundial. Uno y otro son de carácter regional y nuestra estimación de los mismos depende de un análisis por industrias. El primero de ellos es el desarrollo de nuevos centros de producción en algunas industrias, desarrollo que según nuestro análisis es posible. Si se crearan estos nuevos centros, el efecto económico rebasaría frecuentemente a la industria particular en cuestión, especialmente si en la región afectada se hubiera utilizado los recursos humanos en el pasado por debajo de sus posibilidades. El impulso inicial proporcionado por el establecimiento de una industria en dichas regiones, podría provocar una

¹ Véase el capítulo XIII, A.1, para un examen más completo.

reacción en cadena conducente a un mayor ingreso *per capita* en el área, como resultado, principalmente, de la utilización más eficiente del trabajo local. En este caso, la movilidad incrementada del combustible puede, en efecto, hacer las veces de un sustituto parcial de la falta de movilidad de los trabajadores de la región que han permanecido en ella a pesar de la escasez de oportunidades para trabajar. El estudio de la posible importancia de tales casos constituiría un campo fructífero para ulteriores investigaciones sobre el impacto económico de la energía atómica.

Existen muchos países en el mundo, como por ejemplo, Brasil, Argentina, Italia, y quizá Gran Bretaña, en los cuales los recursos interiores de energía están tan limitados que constituyen un serio impedimento para el futuro desarrollo económico. La energía atómica puede ser importante para estos países por dos razones: 1) acaso posean abundantes recursos en combustible atómico con el que podrían satisfacer sus futuras necesidades de energía (por ejemplo, Brasil cuenta con depósitos de torio relativamente grandes); 2) aun en el caso de que dichos países no posean recursos de combustible atómico, probablemente podrán comprarlo en su forma natural, es decir, como mineral de torio o uranio, y concentrarlos con sólo un pequeño desembolso de divisas, comparado con el costo de su equivalente en carbón o petróleo.² Conforme hemos ya señalado, la parte del combustible en el costo de la energía atómica relativa es insignificante. Los costos de capital constituyen el elemento importante en los costos totales y es posible que, bien en el futuro próximo —como en Gran Bretaña— o más tarde —como en países subdesarrollados—, los recursos nacionales proporcionen la mayor parte del equipo e instalaciones de la planta. Esto, en efecto, haría que el combustible ya no perteneciera a aquella clase de productos que en ninguna circunstancia pueden producirse en cantidades adecuadas con los recursos interiores. Es difícil saber la importancia que tendría este cambio desconociendo las perspectivas futuras del comercio mundial. Pero no sería infundado creer que los factores físicos y económicos que de otro modo conducen a una distribución extraordinariamente desigual (es decir, dificultades de divisas) de la energía entre las distintas naciones del mundo se verán grandemente modificados con el advenimiento de la energía atómica comercial.

Si se pudiera disponer de energía atómica, sea como calor directo del reactor o como electricidad, en lugares donde escasean otros combustibles se plantearía la siguiente cuestión: ¿A qué usos se puede aplicar económicamente este tipo de energía? En particular, es importante saber si puede utilizarse en ciertas industrias claves para el progreso económi-

² Véase el capítulo II, B.4.b, para un examen más completo.

co, por ejemplo, la siderurgia, ferrocarriles, etc. Nuestro análisis de las industrias proporciona los comienzos de una respuesta.

4. Selección de industrias

Las industrias incluidas en nuestro análisis son las del aluminio, cloro y sosa cáustica, abonos fosfáticos, cemento, ladrillos, vidrio plano, siderurgia, transporte ferroviario y calefacción doméstica. Al elegir esas industrias nos hemos guiado por las tres cuestiones importantes examinadas más arriba que son fundamentales para el análisis de la industria.

Dado nuestro interés en determinar si es posible reducir el costo como resultado de la energía atómica, se trata de industrias en las que el costo de la energía es un elemento importante en el costo total de producción. Así, mientras que el costo de la energía en Estados Unidos para todas las manufacturas representa cerca del 2.3 % del valor en fábrica de los productos, la importancia relativa del costo de la energía en las industrias a que se refiere nuestro análisis está, en todos los casos, muy por encima de este valor promedio.³ Esto es evidente en el cuadro 9 que resume las cifras del caso.

CUADRO 9. Costo de la energía expresado como tanto por ciento del costo de producción en diversas industrias.^a

Industria	Costo de la energía como tanto por ciento del costo de producción	Observaciones ^b
Aluminio	20	Comprende sólo la electricidad utilizada en la reducción de la alúmina a aluminio y se refiere a las plantas de concentración situadas cerca de fuentes hidroeléctricas de bajo costo. El costo de la electricidad se expresa como porcentaje del costo de fábrica estimado de aluminio en lingotes.
Cloro y sosa cáustica	8	Se refiere al cloro y a la sosa cáustica producidos simultáneamente en el proceso electrolítico y expresa el costo de la electricidad (a 3.5 milésimas de dólar por KWH, precio típico para esta industria en la preguerra) como tanto por ciento del precio de fabricación de los dos productos en la preguerra.

^a Lincoln Gordon dedujo del Censo de Manufacturas para 1939 el valor medio indicado en el texto ("Power and Fuels", *op. cit.*)

Industria	Costo de la energía como tanto por ciento del costo de producción	Observaciones ^b
Abonos fosfatados.	33	Se refiere al superfosfato doble producido a partir de fósforo elemental en un horno eléctrico utilizando electricidad a un costo de 3.25 milésimos de dólar por KWH (costo supuesto de la energía atómica). El costo de la electricidad se ha expresado como tanto por ciento del costo estimado de producción del superfosfato doble. El abono se produce hoy, generalmente, mediante un procedimiento químico en el que el costo de la energía es insignificante.
Cemento	15-26	Se refiere tanto al combustible como a la energía consumidos en la fabricación del cemento y supone un costo del carbón de Dls. 2.00-Dls. 6.00 por tonelada (margen de variación representativo de los costos del carbón en la anteguerra para las fábricas de cemento en diferentes partes de Estados Unidos).
Ladrillos	20	Se refiere tanto al combustible como a la energía consumidos en la fabricación de ladrillos e indica el costo de la energía como tanto por ciento del valor en fábrica de los productos para toda la industria en 1939.
Vidrio plano	7-10	Se refiere tanto al combustible como a la energía consumidos en la fabricación de vidrio e indica el costo de la energía como tanto por ciento del valor en fábrica de los productos en centros de producción representativos.
Hierro y acero ..	12	Se refiere tanto al combustible como a la energía consumidos en los altos hornos, hornos de aceración y molinos de laminación, e indica el costo de la energía como porcentaje del valor en fábrica de los productos (excluyendo duplicaciones) para toda la industria en 1939.
Ferrocarriles	8	Se refiere a toda la energía consumida e indica el costo de la energía como tanto por ciento de los gastos totales de explotación en los ferrocarriles en 1929 y 1945.

^a Se excluye la calefacción doméstica, porque en este caso la energía no se utiliza en la producción de otro artículo o servicio, sino que, de hecho, es el artículo producido.

^b Véanse los capítulos dedicados a cada industria para una explicación completa del significado y cálculo de estos porcentajes.

Hemos incluido algunas industrias en las que los recursos energéticos ejercen una influencia locacional porque nos hemos propuesto examinar también los posibles efectos de la energía atómica sobre la localización de las industrias. Las industrias comprendidas en esta categoría son aluminio, vidrio plano y siderurgia. El estudio de los efectos locales es también importante en cuanto a los abonos fosfatados, pues la utilización de la energía atómica puede dar lugar a nuevos procedimientos de producción cuyos factores locacionales son diferentes a los del proceso comúnmente utilizado hoy en día.

Finalmente, debido a nuestro interés por los cambios de proceso, hemos incluido ciertas industrias en las que la energía atómica puede utilizarse sólo después de introducir tales cambios. El término "cambio de proceso" se usa en un sentido especializado para significar el uso de la energía atómica, bien sea como calor directo o como electricidad, en una industria en la que hoy la electricidad no constituye la fuente primaria de energía. Definimos el cambio de proceso de esta manera porque si la energía atómica aparece como electricidad, puede utilizarse sin cambio alguno de proceso en todos aquellos lugares en que hoy se usa la electricidad. Por ejemplo, en nada afecta la producción de aluminio el hecho de que la fuente de electricidad sea un reactor nuclear o un salto de agua. Sin embargo, para aquellas industrias que obtienen energía del carbón o algún otro combustible (o que, como en el caso de los abonos fosfatados, se basan en un procedimiento químico), entrañaría, por lo general, una profunda alteración el que su fuente de energía pasara a ser la electricidad. Se haría en tal caso necesaria una técnica de producción nueva en, por lo menos, algunos aspectos. La diferencia puede ser menos radical en aquellos casos en los que el reactor nuclear se utiliza más bien como fuente de calor que como productor de electricidad, pero incluso entonces, tal vez, sea necesario introducir cambios muy importantes en la técnica de producción. Por ejemplo, la sustitución del carbón por el calor nuclear en la calefacción doméstica exigiría el establecimiento de sistemas de calefacción por distritos para reemplazar el horno doméstico.

Las industrias en las que el cambio de proceso, así definido, es importante tema de estudio, son las de abonos fosfatados, cemento, ladrillo, vidrio plano, siderúrgica, transporte ferroviario y calefacción doméstica. Con excepción de los abonos, que se producen químicamente, el carbón, el petróleo o el gas tienen gran importancia en estas industrias. En el cuadro 10 se indica la cantidad de combustible consumida por esas industrias en 1939 en términos de su equivalente energético en toneladas de carbón bituminoso, y la cantidad de carbón consumida como tal. Esta última representaba en 1939, para dichas industrias, el 66 % de todo el carbón bituminoso producido en Estados Unidos y cerca del 60 % del

carbón bituminoso y la antracita combinados. Todo el combustible consumido por estas industrias absorbió más del 40 % de la oferta nacional total de energía procedente de combustibles minerales y equivalió a entre 80 y 90 % del suministro nacional de carbón.

CUADRO 10. Combustible consumido en diversas actividades que utilizan combustible, no electricidad, como fuente primaria de energía.

Industria	Combustible consumido en 1939, total expresado en equivalente de carbón bituminoso	Carbón consumido como tal o como coque
(millares de toneladas)		
Fabricación de cemento ^a	7,300	5,200
Fabricación de ladrillo ^b	3,100	2,200
Fabricación de vidrio plano ^c	1,000	300
Fabricación de hierro y acero ^d	65,700	55,000
Transporte ferroviario ^e	90,100	74,700
Calefacción doméstica ^f	189,000	124,000
Total	356,200	261,400
Total expresado como:		
Tanto por ciento del total de carbón bituminoso producido	90	66
Tanto por ciento del total de carbón bituminoso y antracita producidos ..	80	59
Tanto por ciento del total de combustibles minerales producidos	42	

^a Deducido de *Minerals Yearbook, 1940, op. cit.*, capítulo sobre "Cemento".

^b Deducido de *Census of Manufactures, 1939*, Oficina del Censo de Estados Unidos, Washington, Gov. Printings Off., 1942, informe sobre "Brick and Hollow Structural Tile".

^c *Ibid.*, informe sobre "Flat Glass".

^d *Ibid.*, informe sobre "Blast Furnaces, Steel Works and Rolling Mills". Reajustados para excluir la duplicación intraindustrial.

^e Deducido de *Statistics of Railways in the United States, 1939*, Comisión Interestatal Norteamericana de Comercio, Washington, Gov. Printing Of., 1941, p. 65.

^f Deducido de *Minerals Yearbook, 1940, op. cit.*, p. 846. Comprende, además del uso doméstico, el combustible utilizado en oficinas, hoteles, escuelas, hospitales, y probablemente tiendas. Sería quizá más exacto designar esta categoría como calefacción de espacios no industriales.

Tres consumidores sobresalen en el conjunto: la siderurgia, los ferrocarriles y la calefacción doméstica. Sería importante estudiar estas industrias, aunque sólo fuese por su enorme entidad como consumidoras de energía. Evidentemente, si la energía atómica pudiese competir en estas industrias con el combustible, podrían presentarse enormes efectos en la producción de combustibles e industrias asociadas. Análogamente, si el uso de la energía atómica llega a ser económicamente hacedero en una o

más de ellas, tal hecho pudiera ser muy importante para la industrialización de aquellos países en que escasean los combustibles ordinarios y donde cabría disponer más abundantemente de energía atómica. Aunque en este capítulo no volveremos a tratar de esta cuestión, no debemos perderla de vista.

La decisión de incluir una industria particular en el análisis se ha basado en los factores antes mencionados. Varias industrias para las que hicimos análisis preliminares (ferroligas, industrias del cobre, plomo, cinc, pulpa y papel, transporte marítimo, nitrógeno químico y algunas fases de la agricultura) no se han incluido en este informe debido a la imposibilidad de reunir datos suficientemente completos, a la falta de tiempo y personal y a otros motivos. Estas y otras industrias que no se estudian en el presente informe merecerían, sin duda alguna, un análisis detallado. Además, las industrias que aquí tratamos no se han investigado con todo el pormenor que hubiera sido de desear. Esperamos que otros llevarán adelante esta necesaria labor.

5. El costo de la energía atómica

Nuestro análisis de los posibles efectos económicos de la energía atómica parte de un conjunto de ideas que conciernen al costo y otras características económicas de la energía atómica. Algunas de éstas han sido mencionadas antes en este capítulo en conexión con diversas cuestiones. En esta sección presentaremos brevemente otras ideas que son particularmente apropiadas para el análisis industrial; son resultado del análisis y de los datos del capítulo I y se refieren principalmente al costo de producción de la energía atómica. Si bien los costos se expresarán en términos de electricidad, algunas de las aplicaciones industriales estudiadas suponen el uso directo del calor nuclear.

De acuerdo con los cálculos del capítulo I, el costo de producción de la electricidad atómica comercial puede figurar en una de las tres clases siguientes (suponiendo precios de 1946 y funcionamiento de la central eléctrica al 50 % de capacidad):

4.0-4.5 milésimas de dólar por KWH.

6.5-7.0 milésimas de dólar por KWH

Alrededor de 10 milésimas de dólar por KWH.

Estos valores han sido estimados en función de una escala de tiempo aproximada para distintas etapas. El valor más alto lo tomamos como representativo del nivel típico de costo en las primeras plantas comerciales que produzcan energía atómica. Consideramos, por otra parte, el valor mínimo que representa el costo mínimo a que se produciría la electricidad atómica mediante la aplicación de técnicas consideradas posibles en

la actualidad. Es nuestra opinión que los costos bajarán a este mínimo si llegan a él únicamente después de muchos años de experiencia de la industria de energía atómica comercial. Consideramos que las cifras intermedias del costo representan una aproximación al nivel de costos existente en aquellas centrales de energía atómica que se construyan, digamos, 5 ó 10 años después de las primeras instalaciones. Estas centrales contendrían los perfeccionamientos en las enseñanzas derivadas de la construcción y operación de las primeras plantas, pero todavía seguirán siendo inferiores a los diseños más eficientes basados en los procesos realizados en un buen número de años de explotación comercial. Sólo las estimaciones mínima e intermedia tienen importancia en lo que concierne a los análisis industriales; en tanto rija el costo más elevado, no es probable que se presenten efectos industriales importantes.

Debe quedar bien entendido que las cifras del costo son sólo cálculos aproximados. Por lo tanto, aunque creemos que debe entenderse que son aplicables a diferentes estadios de la utilización comercial de la energía atómica, es también posible que uno cualquiera de ellos llegue a convertirse en el costo real a largo plazo de producción de la energía atómica, según la forma en que se manifiestan en el proceso de desarrollo hoy en curso los múltiples factores desconocidos.

Probablemente, la cifra más firme es aquella por debajo de la cual no es de esperar que caigan los costos atómicos, ya que se basa en la hipótesis de que la inversión por kilovatio instalado en energía atómica sería, en definitiva, igual a la inversión en energía térmica ordinaria. En este caso, la única diferencia que subsistiría sería la relativa al costo del combustible "quemado" en las dos clases de planta.

Esta cifra mínima del costo (con las modificaciones que se señalan más abajo) es de gran importancia en el presente análisis. La cuestión esencial que planteamos en nuestro estudio industrial es la siguiente: ¿Qué grado de baratura ha de tener la energía atómica para que acarree ciertos efectos, tales como cambios de localización, cambios de proceso y reducciones del costo? Resuelto este punto se trata entonces de ver si el costo requerido es superior, inferior o aproximado al más bajo costo concebible de la energía atómica. Para determinarlo empleamos el costo mínimo estimado. Ello nos permite determinar qué efectos *no* se producirán, sean cuales fueren las circunstancias; y nos permite formarnos idea de la naturaleza y alcance de aquellos cambios previsibles. Así nos ayuda a definir el área general dentro de la cual caerían los cambios que resulten de la energía atómica.

Pueden advertirse otras características importantes de la energía atómica cuando los costos de producción estimados se expresan en términos de sus componentes. Tomemos para ello las dos clases más bajas de costo, pues sólo éstas interesan para nuestro análisis industrial. Su descom-

posición en cargas fijas, combustible, y trabajo, mantenimiento y suministros, es como sigue (en milésimos por KWH):⁴

	<i>Estimación mínima</i>	<i>Estimación intermedia</i>
Costo total:	4.0-4.5	6.5-7.0
Cargas fijas	3.5	5.4
Combustible	0.002-0.02	0.002-0.02
Trabajo, mantenimiento y suministros	0.5-1.0	1.1-1.6

Dos factores fundamentales se manifiestan en este desglose de los costos estimados: 1) las cargas fijas predominan en los costos de producción; y 2) el costo del combustible tiene escasísima importancia. La partida del combustible se refiere al consumo diario de uranio o de torio naturales. Uno y otro se componen casi por completo de materiales que en su estado natural, no son fisiónables pero que poseen la singular propiedad de convertirse en sustancia fisiónable cuando se le somete a fisión en el reactor nuclear. Para que el reactor comience a funcionar se necesitará probablemente, además del uranio natural, la inversión de un stock inicial de alguna sustancia fisiónable pura (plutonio, uranio 235 o uranio 233). Esta inversión será relativamente costosa, pero figura solamente como elemento del costo inicial de capital por kilovatio de capacidad y queda cubierta en las cargas fijas sobre la inversión. Suponemos que el reactor mantendrá, como mínimo, su provisión de tales materiales mediante su propio funcionamiento convirtiendo los materiales alimentadores (uranio o torio naturales) en sustancia fisiónable.

Estos factores entrañan por lo menos dos consecuencias para el análisis de las industrias. La primera concierne a la cuestión del tanto por ciento de capacidad a que funcionará la planta de energía atómica. Los costos indicados son para plantas que operan al 50 % de su capacidad, cifra media aceptable para la producción total de electricidad. Sin embargo, como las cargas fijas son tan importantes, es posible lograr reducciones sustanciales del costo por KWH si la capacidad se utiliza más plenamente. Muchas de las industrias que examinamos en nuestro estudio se caracterizan por una demanda casi continua e invariable de energía, de suerte que utilizarán un kilovatio de capacidad casi el 100 % del tiempo. Para estas industrias, empleamos en nuestro análisis la estimación más baja del costo por KWH, que refleja una más completa utilización de la capacidad. A continuación presentamos (en milésimos de dólar por KWH) el resultado de la comparación entre los costos totales por KWH al 80 y 90 % de la capacidad (raramente se alcanza el 100 % de capacidad), y los costos correspondientes al 50 %:

⁴ Estos valores no concuerdan exactamente con los del capítulo I porque están ajustados a totales que se han redondeado dentro de los 0.5 milésimos más próximos.

<i>Capacidad aprovechada</i>	<i>Estimación mínima</i>	<i>Estimación intermedia</i>
50	4.0-4.5	6.5-7.0
80	2.7-3.2	4.6-5.0
90	2.5-3.0	4.2-4.6

Una segunda consecuencia es que el costo de producción de la electricidad atómica permanecerá, probablemente, casi constante a lo largo de la vida de una instalación existente de energía atómica. Esto establecería una diferencia muy acentuada entre la electricidad atómica y la electricidad térmica ordinaria si continuara la tendencia ascendente en el costo del combustible usual, dado que el aumento de los costos del combustible daría lugar a más altos costos de la electricidad. En este respecto, las instalaciones atómicas se parecerán a las centrales hidroeléctricas, puesto que también para ellas las cargas fijas son el elemento dominante de los costos.

Todas las cifras que hemos señalado hasta aquí son costos estimados para la producción de energía atómica. Puesto que muchas de las industrias estudiadas en el análisis comprarán normalmente la electricidad a centrales eléctricas situadas a veces a considerable distancia de la factoría consumidora, habrá costos adicionales por la transmisión de la electricidad. Es muy difícil calcular estos costos, particularmente porque no pueden predecirse las distancias. Suponemos que, en general, las industrias que utilizan gran cantidad de energía serán instaladas cerca de la central eléctrica a fin de evitar gastos excesivos por transmisión, pero en cualquier caso este factor debe pesarse teniendo en cuenta otros factores del costo.

Hemos decidido no considerar explícitamente los costos de transmisión en la mayor parte de nuestros análisis industriales. Lo hacemos en cambio implícitamente al suponer que la frontera de los costos atómicos alcanzables se encontrará en algún punto situada entre las estimaciones mínima e intermedia, pero en ningún caso en el mínimo absoluto estimado. Contamos, en efecto, con un margen de costo de cerca de medio a un milésimo de dólar por KWH (al 90 % de capacidad) con el cual podría cubrirse el costo de transmisión junto con otros factores indeterminados en los cálculos del costo. El transporte ferroviario constituye la excepción en este procedimiento entre las industrias consumidoras de electricidad. En este caso, consideramos explícitamente la transmisión a causa de la necesidad, obvia en esta industria, de llevar la electricidad a grandes distancias.

B) RESULTADOS MÁS IMPORTANTES DE LOS ANÁLISIS DE INDUSTRIAS

En los resúmenes que siguen se da cuenta de aquellos resultados de nuestros estudios industriales que consideramos de mayor importancia en lo que concierne a su aplicación en Estados Unidos. En nuestro examen detallado de las industrias y en otras partes de este informe intentamos suponer las consecuencias del análisis norteamericano, dondequiera que los resultados lo justifican, para otros países. Desgraciadamente, no siempre pudimos compendiar estas ampliaciones del argumento fundamental.

El lector debe tener presente que con frecuencia nos ha sido difícil reflejar dentro de los límites de un breve sumario el carácter provisional de nuestras conclusiones, o proporcionar información adecuada sobre las limitaciones de los datos fundamentales. Estos puntos se tratan con mayor detalle en los capítulos dedicados a cada una de las industrias examinadas.

1. Aluminio

La industria del aluminio consume una cantidad extraordinaria de electricidad por tonelada de producto. El gasto de electricidad —cerca de 18,000 KWH por tonelada— es el mayor entre las industrias que tratamos aquí. La enorme cantidad de energía requerida por unidad, ha forzado a esta industria a buscar fuentes de electricidad de muy bajo costo para las plantas de concentración y beneficio del aluminio. Por regla general, éstas se encuentran cerca de la energía hidroeléctrica. Esta orientación hacia la energía barata ha traído consigo la aparición de costos adicionales en la producción y venta en el mercado de dicho metal, tanto por el transporte de materias primas (2 toneladas de bauxita por tonelada de alúmina, 2 toneladas de alúmina por tonelada de aluminio) a los centros de producción como para el transporte del aluminio en lingotes a los centros consumidores.

Tres son las cuestiones fundamentales que hemos examinado. 1) ¿Podría la energía atómica reducir los costos en los lugares de producción existentes? 2) ¿Podría aproximar los sitios de producción a los mercados del aluminio, o a los yacimientos de bauxita, como resultado de una mayor uniformidad geográfica de las tarifas eléctricas? 3) ¿Podría tener importancia para el incesante crecimiento de la industria del aluminio al proporcionar una fuente futura de energía eléctrica más barata que aquella de la que en cualquier otro caso se pudiera disponer?

El resultado a que hemos llegado es que no es probable que se consigan costos más bajos como consecuencia de la energía atómica en la actual localización de la industria, dado que ésta utiliza ya fuentes de

energía que producen electricidad más barata de lo que parece posible para las centrales de energía atómica.

Se consideró la posibilidad de relocalizar los centros productores de aluminio en dos nuevos lugares: 1) la Guayana Holandesa, que proporciona la mayor parte de la bauxita consumida en Estados Unidos, y 2) Mobile, Alabama, que se encuentra más cerca de las fuentes de bauxita y también más cerca de principales mercados que algunas de las plantas actuales de aluminio, y que es hoy un importante centro de producción de alúmina (estado intermedio en la obtención del aluminio a partir de la bauxita). Suponiendo que en los actuales centros de producción de aluminio se podrá contar en el futuro, como en el pasado, con un suministro creciente de energía de igual bajo costo, el traslado a nuevos centros requeriría en la Guayana Holandesa un precio de la energía atómica de 3.5 milésimos de dólar por KWH, o menos, y 3.25 milésimos, o menos, en Mobile. Dado que estos precios se encuentran en la frontera de los costos atómicos considerados posibles, hemos llegado a la conclusión de que, aunque los cambios de localización pueden ser uno de los resultados de la energía atómica, tales cambios no traerán consigo reducciones considerables en los precios del aluminio.

Que la energía atómica pueda proporcionar una futura fuente de energía eléctrica más barata que la energía ordinaria, depende principalmente de cuatro variables: 1) la demanda de aluminio calculada para el futuro, si los precios relativos de este metal permanecen iguales a los hoy vigentes; 2) la disponibilidad de energía hidráulica en el futuro en lugares que reúnan condiciones naturales favorables; 3) los futuros costos de construcción de los aprovechamientos hidroeléctricos; y 4) los futuros costos de otros combustibles que puedan utilizarse para producir electricidad. Estas variables pueden combinarse en la siguiente imagen. Los cálculos de demanda futura de aluminio indican que pueden llegar a necesitarse unos 3.5 millones de kilovatios de capacidad adicional para satisfacer el aumento de producción del aluminio entre 1945 y 1970. Esta cantidad, que es cerca del 80 % de la capacidad generadora total en 1946 de las plantas hidroeléctricas de propiedad federal, tendrá que producirse aun cuando los aprovechamientos hidroeléctricos disponibles posean, en general, condiciones naturales menos favorables que los que se encuentran ya en explotación. Además, el costo de construcción de las plantas hidroeléctricas será superior al de la década anterior a la guerra. Aunque sólo sea por el aumento de los costos de construcción, otras fuentes de electricidad (a 3.9 milésimos de dólar o menos por KWH) situadas en el área de la Costa del Golfo proporcionarían en importantes mercados aluminio más barato que el que se podría producir aumentando la capacidad hidroeléctrica en los actuales aprovechamientos hidroeléctricos.

Si bien a un precio de 3.9 milésimos de dólar podrían tal vez emplear-

se para la producción de aluminio plantas termoeléctricas ordinarias alimentadas con gas natural, por varias causas dichas plantas serían menos eficaces que la energía atómica en lo que atañe a atraer la producción de aluminio:

1) La disponibilidad y costo futuro del gas natural son inciertos, mientras que los costos de la energía atómica serían prácticamente invariables durante la vida de la central atómica. Esto es importante, porque el aumento del costo del combustible, y con ello los más altos precios resultantes por KWH, podrían ser desastrosos para los productores de aluminio debido a su fuerte consumo de energía por unidad de producción.

2) Los costos atómicos pueden caer, potencialmente, por debajo de los costos posibles asociados al gas natural, excepto cuando éste es un subproducto de la explotación de un campo petrolífero para el que no existe otro mercado, y es en consecuencia casi gratuito.

3) Las plantas termoeléctricas alimentadas con gas natural carecerían de flexibilidad, comparadas con la energía atómica, en lo que se refiere a su localización. El gas natural es barato en la Costa del Golfo, pero éste es únicamente uno de los muchos lugares en que se podría producir aluminio. Otros sitios, aun más cerca de mercados importantes, pudieran ofrecer costos más bajos que Mobile para la producción y transporte del aluminio, particularmente si llega a ser técnicamente factible la producción del aluminio con arcillas de bajo grado que se pueden encontrar casi en todas partes. Sobre esta base, el área de Nueva York, u otros centros importantes de mercado, pudiera atraer la producción de aluminio si se contara con energía atómica, pero no sin ella.

Llegamos a la conclusión, por consiguiente, de que la energía atómica puede tener gran importancia para sostener la futura expansión de la producción de aluminio en Estados Unidos y que, en ese caso, dicha producción se realizará, sin duda alguna, en localidades diferentes de las hoy favorecidas por los productores de aluminio.

2. Cloro y sosa cáustica

La industria del cloro y la sosa cáustica es, al igual que el aluminio, una industria electrolítica. Pero difiere profundamente de la de aquel metal en cuanto a la forma en que puede verse afectada por la energía atómica. Sus necesidades de energía por unidad de producto (unos 2,850 KWH por cada 2 toneladas, 1 de cloro y 1 de sosa), si bien grandes en comparación con la marcha general de las industrias, son relativamente moderadas cuando se comparan con las de la producción del aluminio. La pérdida de peso que tiene lugar en el paso de la materia prima (sal) a los productos finales, es despreciable comparada con la que se presenta en la conversión de la bauxita en aluminio. En consecuencia, los pro-

ductores de cloro y sosa cáustica se localizan generalmente cerca de sus mercados, más bien que en las inmediaciones de los depósitos de sal o cerca de la energía hidráulica barata cuando éstos están lejos de los mercados, y no existe razón alguna para esperar que la energía atómica cambie los rasgos esenciales de esta localización. La cuestión principal, por lo tanto, es la de si la energía atómica proporcionará electricidad más barata en aquellos lugares en los que se encuentran hoy situados los productores para servir un mercado ya existente.

La conclusión general a que llegamos está claramente comprendida en la propia naturaleza de esta industria. Para que la producción esté orientada hacia el mercado, debe dispersarse ampliamente, y si está muy dispersa, los productores encontrarán costos muy variados de energía. En lugares convenientes de producción, aunque no en todos, la energía atómica pudiera proporcionar electricidad a un precio más barato que las fuentes actuales. Es difícil fijar los lugares precisos en los que el uso de la energía atómica podría reducir los costos. Los datos de que podemos disponer indican que el nivel general de costos de la energía en los principales centros de producción de Michigan, Rhode Island y New Jersey es tal que la energía atómica podría ser más barata, pero esto, en el mejor de los casos, no está adecuadamente apoyado en los datos disponibles. Un cálculo aproximado indica que, podría esperarse una reducción del costo no mayor de 5 % en aquellos puntos en los que la electricidad atómica es más barata que las fuentes existentes.

3. Abonos fosfatados

El costo de la energía carece de importancia en la fabricación de estos abonos, pero podría llegar a adquirirla si cambia el proceso de producción. Los métodos de producción utilizados corrientemente se basan en la roca de fosfato y el ácido sulfúrico; el método de producción que pudiera utilizarse exige grandes cantidades de electricidad en vez de ácido sulfúrico. Sin embargo, el método del ácido sulfúrico se podría reemplazar por un proceso eléctrico sólo si el costo de la electricidad fuese muy bajo. ¿Podría ser la electricidad atómica lo bastante barata para provocar la adopción del nuevo proceso basado en la electricidad?⁵

En el nuevo método, las necesidades de energía por unidad de producto son grandes: 13.000 KWH por tonelada de fósforo elemental, cantidad comparable a los 18.000 KWH por tonelada que encontramos en la reducción del aluminio. También son grandes las cantidades de materias primas necesarias por tonelada de producto: unas 7 toneladas de

⁵ El análisis supone la producción de fósforo elemental para ser utilizado en la fabricación de superfosfato doble para abonos. Podrían resultar conclusiones muy diferentes en cuanto a la producción de fósforo elemental para otros usos.

roca de fosfato por tonelada de fósforo, lo que es asimismo comparable con las 4 toneladas de bauxita que se requieren, aproximadamente, por tonelada de aluminio. La producción de aluminio demuestra que si las necesidades de electricidad por unidad de producto son suficientemente grandes, a menudo merece la pena transportar a largas distancias materias primas que pierden peso para tratarlas en sitios donde la energía hidráulica se ofrece a bajo costo. Una segunda cuestión importante es, por lo tanto, si la electricidad atómica cerca de los yacimientos de roca de fosfato daría un producto más barato que la energía hidráulica a bajo costo ubicada a cierta distancia de las minas de roca de fosfato.

Para resolver estas dos cuestiones, estudiamos las circunstancias que se dan en la mayor región productora de Estados Unidos, los yacimientos de Florida. Nuestro análisis descubrió que, si bien antes no era así, en la actualidad las economías de transporte favorecerían probablemente aquellos sitios que se encuentran cerca del fosfato mineral con vistas a la producción de abono fosfatado mediante el método del ácido sulfúrico. En consecuencia, la primera comparación se estableció entre los costos estimados de producción del abono fosfatado en Florida según dicho método y mediante el método eléctrico. Ello puso de manifiesto que precios del orden de 3.5 milésimos de dólar por KWH, o menos, justificarían en dicha región el empleo del método del horno eléctrico. Dado que la electricidad atómica podría producirse a este costo, llegamos a la conclusión de que la energía atómica fomentaría la utilización del método eléctrico en vez del del ácido sulfúrico, mientras que los costos en Florida de la electricidad producida con combustibles ordinarios serían tal vez demasiado altos para justificar la utilización del primero de estos métodos.

La segunda comparación se efectuó entre la fundición eléctrica en Florida y la fundición eléctrica de la roca de fosfato de la Florida en la región del Valle del Tennessee. Esta última región fué considerada como la localidad más favorable para la fundición eléctrica a bajo costo de la roca de Florida, fuera de la región productora del mineral. Reveló esta comparación que, como resultado de los costos adicionales de transporte del mineral a lugares que cuentan con energía hidroeléctrica a bajo costo, en la Florida la electricidad atómica a razón de 3.5 milésimos de dólar por KWH sería probablemente más barata que la fundición eléctrica en otro lugar cualquiera, incluso los que cuentan con energía hidroeléctrica de costo más bajo.

El análisis puso además de manifiesto que no habría lugar a reducciones espectaculares en el costo del abono como resultado de la energía atómica. La elección de métodos se efectuaría, probablemente, sobre la base de muy pequeñas diferencias en el costo. La importancia de la energía atómica reside en su capacidad para inclinar la balanza en favor del

método eléctrico en circunstancias en las cuales la electricidad obtenida a partir de las fuentes usuales pudiera resultar demasiado costosa para justificar su uso.

4. Cemento

En la producción de cemento se consume mucha energía por unidad de producto, más bien en forma de combustible que se quema en el horno que en forma de electricidad. En nuestro análisis se examinan dos posibilidades para reemplazar los combustibles ordinarios por la energía atómica: 1) el uso de electricidad atómica en un proceso que supone la sustitución de los hornos alimentados por combustible por hornos eléctricos; y 2) el uso de un gas extremadamente caliente que procedente del reactor nuclear alimente el horno de cemento. Ni uno ni otro método son factibles con las técnicas actuales, ni tampoco se sabe si podrán superarse las dificultades técnicas que ello acarrea. En cierto sentido, nuestro análisis es un intento de determinar si dadas las posibles economías en el costo de producción del cemento con los nuevos métodos vale la pena intentar resolver dichos problemas técnicos.

Dos características de la fabricación del cemento son importantes al evaluar la posible influencia de la energía atómica. 1) La energía y el combustible constituyen un importante elemento del costo; por ejemplo, con carbón a Dls. 4 la tonelada corta, representan el 20 % del costo total de producción. 2) El lugar de producción está determinado generalmente por el mercado. En consecuencia el costo del combustible y la energía varían considerablemente de uno a otro lugar de producción. Los reactores nucleares, por lo tanto, podrían ofrecer posibilidades de reducir el costo de fabricación de cemento en ciertas localidades. El punto importante que se ha de resolver es, pues, el siguiente: ¿Cuál debe ser la baratura de la energía atómica para que estos dos métodos, ni ensayados ni perfeccionados, puedan competir con el combustible ordinario en la fabricación de cemento?

Nuestro análisis de los costos comparativos de la energía sugiere que probablemente el método electrotérmico de fabricación del cemento basado en la electricidad atómica no podría competir, excepto donde el carbón cuesta Dls. 12 por tonelada o más. Como es éste un precio del carbón excepcionalmente alto en tiempos normales y para grandes consumidores, concluimos que la energía atómica en forma de electricidad carecería de importancia en la fabricación de cemento. Por otra parte, el reactor nuclear como fuente de gas a muy alta temperatura podría competir con carbón que costase de Dls. 4 a Dls. 6 por tonelada; considerando que muchas regiones de Estados Unidos probablemente compran el carbón a precios dentro de esos límites, concluimos que la energía atómica aplicada en esta forma podría tener gran importancia para la in-

dustria norteamericana del cemento si se resolvieran los problemas de ingeniería planteados por su uso.

El análisis se complica por otro factor. El gas, a la temperatura extremadamente alta que se requiere en la fabricación de cemento, sólo puede conducirse por tuberías a distancias muy cortas. Esto puede significar que las fábricas de cemento podrían estar en condiciones de utilizar gas a elevadas temperaturas procedente de reactores nucleares sólo si el reactor se encontrase cerca del horno. A menos que se encuentren nuevos usos del reactor en la vecindad de la fábrica de cemento, esto podría limitar el uso de reactores nucleares a aquellas fábricas lo bastante grandes para necesitar unidades de dimensión económica todavía desconocida. Por esto, gran parte de la industria del cemento podría quedar excluida de los beneficios potenciales del uso de la energía atómica.

5. Ladrillos

La industria del ladrillo se asemeja a la del cemento en varios aspectos. La energía constituye un elemento importante de los costos de producción; en 1939 la energía representaba cerca del 20 % del valor en fábrica de los productos de la industria del ladrillo. La orientación de la producción hacia el mercado es aún más acentuada que en la fabricación de cemento, porque las economías de escala en la producción de ladrillos no son tan importantes como en la industria del cemento. Al igual que en ésta, por consiguiente, los costos de la energía variarán probablemente mucho, según sea el nivel de costos del combustible en la región en que está situada la fábrica de ladrillos de que se trate.

La semejanza no acaba aquí. Las necesidades de energía en la fabricación de ladrillos, al igual que las que encontramos en la producción de cemento, consisten principalmente en combustible destinado a ser quemado en el horno y sólo en segundo lugar en electricidad. De acuerdo con esto, y sin llevar a cabo nuevos cálculos para esta industria, suponemos que la energía atómica será económicamente explotable sólo si el reactor nuclear puede utilizarse como fuente de gas muy caliente para uso directo en el horno. Sin embargo, la fábrica corriente de ladrillos es sumamente pequeña en comparación con las fábricas de cemento, casi con certeza demasiado pequeña para que exija un reactor nuclear propio dentro de una escala de tamaño económico. A causa de esto, llegamos a la conclusión de que, aun en el caso de que el reactor nuclear pueda proporcionar gas suficientemente caliente para la fabricación de ladrillos, su importancia estará estrictamente limitada por el pequeño tamaño de tales fábricas, a menos que en la vecindad inmediata existieran otras posibilidades de utilizar en gran escala el reactor.

6. Vidrio plano

Aunque el combustible y la energía tienen menos importancia en el costo total de la producción de vidrio plano que en la mayor parte de las otras industrias manufactureras tratadas en este informe, los mayores centros de producción se encuentran situados cerca de los centros abastecedores de combustible. El combustible utilizado en Estados Unidos es casi invariablemente gas natural, y hay hornos de vidrio tanto en las antiguas como en las nuevas regiones productoras de gas. Nuestro análisis del posible uso de la energía atómica en esta industria se basa en la aplicación de hornos eléctricos para la fusión del vidrio que constituyen algo nuevo y todavía no del todo perfeccionado, pero sobre cuyo costo y funcionamiento hay algunas estimaciones técnicas.

Dos son las cuestiones que hemos considerado en cuanto al posible efecto de la energía atómica en la fabricación del vidrio: 1) ¿Podría reducir los costos de producción en los centros existentes? 2) ¿Podría determinar que la industria se trasladara de los campos de gas a nuevos centros de producción situados más cerca de los mercados? Esta segunda cuestión se plantea porque las materias primas utilizadas en la producción del vidrio a no ser el combustible, existen en casi todas partes, de suerte que una mayor igualación geográfica del costo de la energía quizá hiciera desear, desde el punto de vista económico, una producción más próxima al mercado.

En lo que concierne a la situación presente de los centros de producción, parece probable que la energía atómica utilizada en el horno eléctrico para la fusión del vidrio podría reducir los costos en muchas de las antiguas regiones productoras de gas del Centro y Este de Estados Unidos, pero no en las más nuevas regiones del Sudoeste que producen gas en abundancia. Sin embargo, para las primeras parece probable que los hornos eléctricos que utilizaran electricidad generada con carbón podrían lograr ciertas reducciones de costos, si bien no tan considerables como las que acaso sean posible con la electricidad atómica. Pero conforme muestra un análisis más detenido, las posibilidades de reducir el costo en las localidades en que hoy está situada esta industria son discutibles.

En cuanto a los posibles cambios de localización de la producción como resultado de la energía atómica, nos encontramos con la siguiente paradoja. Aunque los hornos que usan hoy gas natural se encuentran en las regiones que contienen gas, la comparación de los costos de transporte tanto del gas natural como del vidrio sugiere que sería más barato llevar el gas a localidades situadas cerca de los mercados consumidores y fabricar el vidrio en ellas. Parece probable, por lo tanto, que con la extensión en el futuro de la red de gasoductos para la distribución del

gas, las áreas cercanas a los mercados cobrarían importancia como centros de producción de vidrio a expensas de aquellas regiones ricas en gas.

Además, si se llegase a introducir el horno eléctrico de vidrio, ello también estimularía la producción cerca del mercado. Nuestros datos indican, en efecto, que en centros tan importantes de mercado como Nueva York y Chicago, estos hornos podrían ser más baratos que aquéllos que usan el gas conducido por tuberías, aun cuando los hornos eléctricos utilicen electricidad generada con carbón. Basados en esto, llegamos a la conclusión de que la producción de vidrio se trasladará probablemente a las regiones de mercado, aunque no haya energía atómica.

No existe indicación alguna de que la tendencia hacia la orientación de mercado en la producción del vidrio se viera reforzada apreciablemente por el advenimiento de la energía atómica. Las ventajas de costos parecen estar claramente de lado del mercado para hornos que utilicen otras fuentes de energía (bien gas natural o electricidad basada en el carbón), y como máximo lo único que pudiera hacer la energía atómica sería reducir algo los costos de producción en las nuevas localidades. Nuestros datos sugieren que estas reducciones del costo serían muy moderadas, posiblemente del 2 % de los costos de producción del vidrio.

7. Hierro y acero

La fundición del mineral de hierro depende hoy por completo del carbón de coque. El carbón actúa, en este caso, a la vez como fuente de calor y como agente químico. También se requiere energía (aunque no necesariamente derivada del carbón) en las últimas fases de la fabricación del acero, incluyendo la refinación y laminación del mismo. La economía general de combustible implícita en la combinación de hornos de coque, altos hornos, hornos de aceración e instalaciones de laminado, ha conducido generalmente a crear centros fabriles donde todas estas operaciones se llevan a cabo en un solo sitio. Consideradas estas operaciones como un todo único, es claro que el carbón tiene importancia no sólo como fuente de combustible para el alto horno, sino que influye poderosamente en la elección del sitio en que se realiza la explotación en conjunto. La siderurgia consume el 15 % de la totalidad del carbón bituminoso producido en Estados Unidos (sobre todo para utilización en altos hornos) y también se consumen grandes cantidades de otros combustibles en los hornos de aceración y en las plantas de laminado.

¿Podría la energía atómica modificar esta situación? En principio, parece que podría modificarla en una cualquiera de las dos siguientes maneras, o en ambas: podría reemplazar al coque como combustible del alto horno, librando así a toda la operación de su fundamental dependencia del carbón; o podría separar del alto horno el horno de aceración

y la instalación laminadora y producir un efecto importante únicamente en estas dos últimas fases, las cuales pueden emplear electricidad de acuerdo con la tecnología actual. En nuestro análisis consideramos ambas posibilidades.

El análisis revela la siguiente posibilidad en cuanto a la separación de los hornos de aceración e instalaciones laminadoras. La electricidad atómica podría hacer que en importantes centros consumidores de acero que en la actualidad carecen de fábricas de acero o que producen mucho menos del que consumen, convenga realizar la fundición de chatarra en hornos eléctricos o, en otras palabras, los precios de la electricidad atómica podrían ser tan bajos que, junto con las economías posibles en el transporte al situar la producción cerca del mercado, harían que estos hornos pudieran competir con las instalaciones siderúrgicas integradas en otros sitios. El reciente anuncio por parte de la Republic Steel Corporation según el cual la fundición continúa ha resultado un éxito en el terreno experimental, aumenta las probabilidades de este aprovechamiento. Siguiendo este método, un solo paso es necesario para convertir el acero fundido en formas casi acabadas, de suerte que se elimina el pesado y costoso equipo que se necesita para la aleación de lingotes. Junto con la electricidad atómica a bajo costo, esto podría despejar el camino para descentralizar la producción siderúrgica llevándola a centros consumidores tan importantes como Nueva York, Boston y San Luis.

La cantidad disponible de pedacería establecería un límite superior definido a la producción de acero con este método. Aunque el suministro anual de pedacería probablemente no exceda de 30 a 40 millones de toneladas como máximo durante mucho tiempo en lo por venir, es muy posible que el límite económico de la fundición eléctrica de pedacería de acero sea considerablemente menor, puesto que las plantas siderúrgicas, que continuarán utilizando hornos de hogar abierto con una carga mixta de pedacería y lingotes de hierro competirán por la oferta limitada de chatarra. Por consiguiente, si bien este método provocaría probablemente cierta descentralización en la producción de acero, la mayor parte de la producción en Estados Unidos seguiría organizada sobre la base actual.

¿Podría reemplazar la electricidad al coque como combustible en el alto horno? Hemos hallado que existe en perspectiva una técnica que pudiera ser económicamente practicable en Estados Unidos. En este método, el mineral de hierro se reduciría a hierro poroso o esponja usando como agente reductor hidrógeno en vez de carbón. Este nuevo proceso, que acaba de salir del laboratorio, es considerado prometedor por los investigadores metalúrgicos que han efectuado experimentos.

La electricidad atómica podría utilizarse para producir hidrógeno mediante electrolisis del agua. ¿Podría producirse hierro a un costo más bajo

siguiendo este método que con altos hornos de coque en los actuales centros siderúrgicos? ¿Podría el nuevo método modificar la localización de los centros productores de hierro hacia nuevos sitios que permitan entregarlo a los principales mercados a un costo inferior al que es posible dada la localización de los actuales centros? Para contestar a estas dos preguntas hicimos cálculos aproximados del costo comparativo de reducción del hierro mediante los dos métodos. Por supuesto, estas comparaciones son sumamente toscas, puesto que el método del hidrógeno no ha sido todavía ensayado comercialmente.

Nuestros cálculos indican que si el precio del carbón coquizable es de Dls. 8 por tonelada, o más, la electricidad atómica empleada en el proceso de hidrógeno podría en el más favorable de los casos, apenas competir con el alto horno de coque. Partiendo de esta base, hallamos que para los centros siderúrgicos existentes el alto horno de coque continuará siendo una fuente de hierro menos costosa que los hornos de hidrógeno basados en la electricidad atómica.

Los actuales centros siderúrgicos están situados favorablemente con relación al carbón. En un proceso basado en la electricidad atómica, la materia prima más importante, por lo que respecta a la ubicación, sería el mineral de hierro y, en consecuencia, intentamos determinar si el proceso del hidrógeno basado en la energía atómica utilizada cerca del mineral de hierro sería más barato que el alto horno de coque en otro sitio. Encontramos que la región ferrífera del Norte de Minnesota, que produce la mayor parte del mineral de hierro consumido en la industria siderúrgica norteamericana, podría proporcionar hierro al mercado de Chicago-Gary a un costo más bajo que las fábricas de acero situadas en esta área y podría casi igualar los costos en la región de Pittsburgh.

Este resultado descansa sobre ciertas hipótesis que pueden resultar erróneas, particularmente con respecto al costo relativo de transportar el mineral de hierro y el hierro esponja. Sin embargo, apunta la posibilidad de que la electricidad atómica haga en nuevos centros de producción que el proceso de reducción basado en el hidrógeno resulte económico.

Si se llegara a adoptar el proceso de hidrógeno utilizando electricidad atómica, las consecuencias en lo que concierne a la localización y magnitud de las instalaciones de producción de acero serían muy grandes. La economía de los subproductos combustibles no tendría ya gran importancia, dado que el procedimiento de reducción por hidrógeno no rendiría nada parecido al volumen de gases a alta temperatura emitidos por el horno de coque y el alto horno. Este cambio debilitaría uno de los más importantes factores que, desde el punto de vista histórico, ha contribuido más a la centralización de todas las operaciones, desde el horno de coque hasta los talleres de laminación. Si el nuevo proceso de hidró-

geno se emplea, tal vez pueda reducirse el mineral de hierro en el propio lugar de extracción, dado que dicho mineral sería entonces, con mucho, la materia prima más importante, y situar las fases ulteriores de producción cerca del mercado de productos de acero. Además, parece posible que el hierro poroso podría trabajarse con éxito en una región para explotar recursos minerales de aproximadamente $\frac{1}{10}$ del tamaño necesario para una inversión económica en alto horno. Por consiguiente, lo que podrá ocurrir es que, con el tiempo, la fundición de hierro experimentase una gran descentralización como consecuencia del establecimiento, en varias regiones, de fábricas productoras de hierro esponja que utilicen reservas locales de mineral de hierro.

En estas circunstancias, aunque en una escala considerablemente reducida, ciertas operaciones integradas podrían volver por la puerta falsa. Porque, a medida que se redujese el tamaño económico de las fábricas, podrían servirse mercados más pequeños mediante una única fábrica, y el mercado y los yacimientos de mineral podrían aproximarse aun más. Claro está que las posibilidades de tal desarrollo mejorarían enormemente con el perfeccionamiento de la fundición continua y otras técnicas de acabado a pequeña escala, ya que ello haría bajar considerablemente el tamaño de las unidades requeridas para la conversión del hierro en ciertas formas básicas.

8. *Transporte ferroviario*

Aunque los costos de energía representan cerca del 8 % de los costos de explotación del ferrocarril, hay otros gastos de explotación que varían según el tipo de energía motriz utilizada. El consumo total de combustible en los ferrocarriles norteamericanos representa algo más del 10 % del consumo total de combustibles minerales del país. La energía hoy consumida procede principalmente del carbón, aunque en estos últimos años se ha manifestado una tendencia hacia el aceite diesel. Esta tendencia puede invertirse si el costo del aceite se eleva mucho y si la locomotora de turbina de gas alimentada por carbón, recientemente creada, pudiera compararse favorablemente con la locomotora diesel. La electricidad como fuente de energía motriz en los ferrocarriles representa sólo un porcentaje muy pequeño del consumo total de energía de esta industria.

Es concebible que los reactores nucleares puedan utilizarse directamente en las locomotoras, pero debido a una combinación de factores técnicos y económicos no consideramos que esto sea probable. La cuestión principal que nos planteamos es la siguiente: ¿Podría la electricidad atómica fomentar un incremento notable en la electrificación de las vías férreas en sustitución de las locomotoras que usan combustible? Nuestra comparación fundamental se establece entre locomotoras eléctricas que

emplearan electricidad producida en centrales atómicas y las locomotoras diesel, que están consideradas como las mejores locomotoras de combustible modernas. En el análisis nos hemos referido sólo a locomotoras que sirven líneas principales y recorren cerca de 200.000 millas por año. Con el fin de reducir el tema a dimensiones manejables, emprendimos comparaciones muy simplificadas, que solo pueden servir de base a conclusiones muy generales.

Las variables más importantes en la elección entre locomotoras diesel y locomotoras eléctricas son los costos comparativos del aceite diesel y la electricidad, de una parte, y la densidad del tráfico ferroviario, por la otra. Al considerar los costos del aceite diesel en varias partes del país y la densidad de tráfico ferroviario predominante en las mismas regiones, resultó que las tarifas de electricidad necesarias para hacer factible la electrificación desde el punto de vista económico caían en la mayor parte de los casos por debajo del cálculo mínimo de costos futuros atómicos. Para tres regiones (Grandes Lagos, Oriente Central y Pocahontas de acuerdo con la clasificación de la Comisión Interestatal de Comercio), la densidad de tráfico ferroviario pareció suficiente para justificar cierta electrificación, pero sólo si la electricidad atómica se puede proporcionar al costo futuro mínimo estimado, y los costos del aceite diesel se mantienen en los altos niveles usuales.

Como una expansión considerable de la electrificación ferroviaria basada en la energía atómica no estaría justificada en ningún punto de Estados Unidos a menos que la electricidad atómica se produjese al costo mínimo estimado para el futuro, esta industria no será electrificada considerablemente como consecuencia de la energía atómica. En primer lugar, es bastante dudoso que los costos atómicos lleguen precisamente al mínimo. En segundo lugar, si esos costos fuesen efectivamente tan bajos, la energía atómica podría, de acuerdo con nuestros estudios, reemplazar al carbón en buena parte de sus usos corrientes. Pero como el tonelaje de carbón constituye cerca de $\frac{1}{3}$ de la carga total transportada por los ferrocarriles norteamericanos, se plantea por lo menos un serio problema en lo que concierne a si, como resultado de la disminución de los envíos de carbón por vía férrea, la densidad del tráfico ferroviario no caería en muchos casos por debajo del mínimo necesario para justificar la electrificación. Por lo tanto, parece estar justificada la consecuencia general de que en el futuro, como en el pasado, la energía motriz en los ferrocarriles continuará siendo el aceite diesel y el carbón, este último combustible posiblemente para ser utilizado en locomotoras radicalmente nuevas.

9. Calefacción doméstica

La calefacción consume anualmente una cantidad de energía mayor que cualquiera otra de las industrias consideradas en nuestro análisis. El combustible consumido en 1945, para este fin representaba casi el 20 % de la energía total procedente de combustibles minerales y saltos de agua.⁶ En cualquier caso, la calefacción doméstica no corre a cargo de ninguna industria, sino del propio usuario o del propietario de la casa. ¿Cómo afectaría la energía nuclear a este importante sector del consumo energético? ¿Podría crearse una industria de calefacción por distritos que utilizase reactores nucleares centrales como fuente de energía? ¿O podrían acaso substituirse los sistemas de calefacción conocidos por algún otro?

En las otras actividades objeto de nuestro análisis hemos considerado la energía atómica principalmente en forma de electricidad. No nos referimos a la electricidad como medio de calefacción porque 1) la calefacción eléctrica con calentadores de resistencia ordinaria se encuentra decididamente en desventaja cuando se la compara con el calor directo procedente de la misma fuente térmica, principalmente por la pérdida de energía sufrida al convertir el calor en electricidad y 2) el único aparato eléctrico para calefacción que podría compensar la pérdida de energía inherente a la producción de electricidad, esto es, la bomba de calor, es hoy muy caro para el uso común. Tampoco consideramos la posibilidad de que los reactores nucleares cuyo producto primario es la electricidad proporcionen calor directo como subproducto, porque en el mejor de los casos éste podría satisfacer sólo una pequeña parte de las necesidades de calefacción de una localidad. Limitamos nuestro análisis a la posibilidad de emplear la calefacción por distritos empleando reactores nucleares productores de calor situados en el centro de una localidad. El calor producido por el reactor nuclear experimental que empezó a funcionar en Harwell, Inglaterra, en julio de 1948, ha sido utilizado ya para calefacción espacial, pero únicamente dentro de dicho establecimiento.

Las variables más importantes que afectan al costo de la calefacción doméstica por distritos son la densidad de población y las condiciones climatológicas. En general, se necesitaría la combinación de una elevada densidad de población e inviernos fríos para que la calefacción por distritos pudiera competir con los métodos de calefacción ordinarios. Esto se debe principalmente a que existen decididas economías de escala en el tendido de conductos subterráneos. En efecto, una determinada longitud de tubería para conducir una carga, por ejemplo, cuatro veces mayor que

⁶ En este total va incluida la calefacción de escuelas, hoteles, oficinas, hospitales y probablemente comercios, pero el análisis se limita a los usos domésticos.

la de una tubería de menor capacidad e igual longitud puede tenderse con un aumento del costo de sólo 50 % aproximadamente. Además, como las cargas fijas son el elemento dominante del costo, el costo por unidad se reduce de modo considerable, cualquiera que sea el tamaño del sistema, cuanto más intensamente se utiliza la capacidad.

Nuestro análisis indica que la demanda concentrada de calefacción que probablemente se requeriría para que los costos de la calefacción nuclear por distritos baje a un nivel de competencia no existe sino en muy pocas ciudades de Norteamérica. Hay condiciones que parecen satisfactorias para dicho tipo de calefacción en algunas ciudades como Boston, Buffalo, Chicago, Milwaukee, Nueva York y Newark, Paterson y Jersey City, New Jersey. En todas estas ciudades, la densidad promedio de población excede de 13,000 habitantes por milla cuadrada. La menor densidad media es la de Milwaukee, pero en cambio los inviernos son los más fríos de las ciudades citadas. Las otras ciudades presentan combinaciones variadas de densidad de población extraordinariamente alta (Nueva York) e inviernos muy fríos (Buffalo). Pero todas ellas se distinguen en considerable medida por ambas características. El solo hecho de que los inviernos sean muy fríos, como es el caso de Duluth, por ejemplo, no sería una condición suficiente para el buen éxito de la calefacción nuclear por distritos, ni tampoco lo sería una elevada densidad de población, como ocurre en algunas ciudades con inviernos benignos.

Por diferentes razones, esta lista de ciudades no es sino una primera aproximación y, en el mejor de los casos, sólo sirve para indicar algunas de las ciudades adecuadas. El hecho de que una localidad sea o no adecuada para la calefacción por distritos solo se podría determinar mediante un estudio técnico de la misma. A falta de este estudio, hemos supuesto ciertos valores típicos para el costo del tendido subterráneo de las tuberías, la naturaleza de los edificios a los que serviría la calefacción, etc. todo lo cual puede resultar inapropiado para alguna o quizá para todas las ciudades indicadas. Se trata de un problema técnico básico que no pudimos afrontar.

Existe, además, una dificultad fundamental estadística que se hubiera podido vencer, pero únicamente a expensas de una cantidad de trabajo muy superior a nuestros recursos. Consiste esta dificultad en que se ha empleado la densidad demográfica media de toda el área de una ciudad, como guía para la selección de localidades adecuadas para la calefacción nuclear por distritos. Pero tales promedios son inadecuados debido a las pronunciadas diferencias de densidad demográfica entre distintos distritos de una misma ciudad. No cabe duda de que algunos distritos de las ciudades que hemos incluido en la lista precedente tienen una densidad demasiado baja para justificar la calefacción por distritos, mientras que en muchas otras ciudades no incluidas en esa lista encontramos determi-

nados distritos en los que la densidad demográfica permitiría el uso de aquella forma de calefacción.

Debido a las limitaciones de nuestro análisis, solo establecimos dos conclusiones muy generales: 1) La calefacción nuclear por distritos podría proporcionarse a un costo lo bastante bajo para competir con los sistemas ordinarios de calefacción en algunas localidades. El mercado así servido representaría una parte considerable de las necesidades nacionales de calefacción. Esto se comprueba con el hecho de que las ciudades antes indicadas comprenden cerca del 10 % de la población de Estados Unidos. Su importancia proporcional sería mucho mayor si las consideráramos desde el punto de vista del combustible consumido para fines de calefacción, ya que gran parte de la población de Estados Unidos vive en regiones templadas en las cuales se usan cantidades relativamente pequeñas de combustible para dicho fin. 2) La sustitución de los métodos ordinarios por la calefacción nuclear por distritos no entrañaría grandes economías de costos. A decir verdad, en la mayor parte de los casos en los que este método pudiera competir, sus costos se encontrarían dentro del mismo margen general que los de los métodos ordinarios, pero la calefacción nuclear podría imponerse a causa de su comodidad.

IV. ALUMINIO

La bauxita, mineral del que se obtiene el aluminio, es una materia prima altamente localizada. Estados Unidos, por ejemplo, dependen en este aspecto, para la mayor parte de sus necesidades, de yacimientos distantes situados en el extranjero. Como aproximadamente se requieren cuatro toneladas de este mineral para producir una tonelada de aluminio, probablemente podrían conseguirse notables economías en el transporte si el aluminio se produjera cerca de los depósitos de bauxita; pero la producción de una tonelada de lingote de aluminio a partir de la alúmina exige cerca de 18.000 KWH de electricidad para la electrolisis. Por lo tanto, la reducción del aluminio se verifica casi invariablemente allí donde la electricidad es barata, aunque esto implica el transporte de la bauxita al centro de energía barata y, luego, el transporte del aluminio refinado hasta los centros de consumo.

¿Reduciría la energía atómica los costos de producción del aluminio simplemente al proporcionar electricidad más barata que la disponible en cualquier otro caso? ¿Aparejaría la energía atómica una economía debido a la disminución de los costos de transporte al hacer posible el establecimiento de plantas refinadoras de aluminio, accionadas por la electricidad atómica, cerca de los depósitos de bauxita, de los mercados del aluminio o de sitios en que concurren ambas ventajas?

Estas dos cuestiones guiarán nuestro análisis. Comenzaremos con una breve descripción de cómo se produce el aluminio. Consideraremos a continuación los posibles efectos de la energía atómica sobre los costos y la localización de la producción en Estados Unidos. En una tercera sección, trataremos de ver si la energía atómica puede representar un papel importante en lo que atañe al aumento de la producción de aluminio en Estados Unidos. Finalmente, intentaremos aplicar nuestras conclusiones a otros países. Los resultados que se presentan no pretenden predecir todas las direcciones posibles que puede seguir en el futuro la producción del aluminio. Creemos, sin embargo, que el análisis pondrá de manifiesto cierto número de factores completamente nuevos que podrían surgir al iniciarse la producción comercial de la energía atómica.

A) PROCESOS DE LA PRODUCCIÓN

Hay dos etapas en la conversión de la bauxita en metal de aluminio. En la primera fase, se precipita la alúmina del mineral de bauxita ya disuelto, en una solución caliente de sosa cáustica. En el segundo estadio, el aluminio metálico se obtiene por electrolisis de la alúmina, es decir, se hace pasar una corriente eléctrica a través de un baño de alúmina y criolita separándose así el oxígeno de la alúmina para dar aluminio metálico.

La producción de alúmina y aluminio exige las siguientes cantidades de materiales y electricidad por tonelada de producto (cifras aproximadas):

<i>Para obtener una tonelada de alúmina (a partir de la bauxita)</i>	<i>Para obtener una tonelada de aluminio (a partir de la alúmina)</i>
2 toneladas de bauxita de alta ley	2 toneladas de alúmina
¾ de tonelada de carbón (o su equivalente en otro combustible)	1.200-1.600 libras de electrodos de carbón
132 libras de carbonato sódico	50 libras de criolita
	70 libras de fluoruro de aluminio
125 libras de cal	18,000 KWH de electricidad

Por estas necesidades, el aluminio se produce en Estados Unidos generalmente cerca de fuentes de electricidad excepcionalmente baratas, mientras que las plantas productoras de alúmina se encuentran, por lo común, en algún punto situado entre la mina de bauxita y el lugar de producción del aluminio metálico. La energía necesaria para obtener la alúmina es tan pequeña comparada con la que se necesita para obtener el aluminio (harían falta aproximadamente 9 toneladas de carbón para producir la electricidad requerida para reducir la alúmina necesaria para obtener una tonelada de aluminio, mientras que para producir esa alúmina se requerirían solamente 1.5 toneladas) que la reducción de bauxita a alúmina resulta económica en regiones cuyos costos de energía son demasiado altos para atraer las fábricas de aluminio.

Debido a sus enormes necesidades de energía por unidad de producto, la reducción de la alúmina a aluminio es la operación que más podría resultar afectada por la introducción de la energía atómica. De acuerdo con los datos que figuran en la sección siguiente, los costos típicos de producción del metal de aluminio ascienden a unos Dls. 200 por tonelada corta, cuando el costo de la energía es de unos Dls. 36 por tonelada. La electricidad requerida en el proceso electrolítico de reducción (9 KWH por libra) daría lugar a los siguientes porcentajes del costo total al hacer variar el precio por KWH:

<i>Costo de la electricidad (milésimos de dólar por KWH)</i>	<i>Costo del aluminio por tonelada¹</i>	<i>Porcentaje del costo total del aluminio atribuible a la energía</i>
2	\$ 200	18
4	236	31
6	272	40
8	308	47
10	344	52

¹ Las cifras que figuran en esta columna se han deducido variando el costo de la energía y manteniendo constantes los otros costos.

Estas cifras indican claramente que los bajos costos de la electricidad constituyen el nervio de la industria del aluminio.

B) EFECTOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA SOBRE LOS COSTOS Y LA LOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

1. Importancia de la electricidad y el transporte en el costo de producción

En el cuadro 11 aparece la descomposición de los costos de producción del aluminio en plantas típicas de Estados Unidos. Los dos grupos de datos corresponden, respectivamente, a los costos estimados más bajos y más elevados en las fábricas propiedad de la Aluminum Company of America. En ese cuadro se ponen claramente de manifiesto algunas de las características antes indicadas de esta industria. El costo de la electricidad representa casi el 20 % de los costos totales, mientras que el costo de transporte de la bauxita y la alúmina a las plantas refinadoras representan entre 11 y 13 % de los costos totales. Merece también notarse que la mayor parte de los costos totales de transporte debe atribuirse al de la alúmina hasta la planta de reducción electrolítica; este costo era más del doble del costo de transporte de la bauxita en el caso de la fábrica de costo máximo. Finalmente, conviene advertir que la energía más el transporte representan solamente ⅓ de los costos totales. De ahí se sigue, evidentemente, que variaciones importantes en "otros costos" podrían anular la importancia de la situación de un centro de producción favorable desde el punto de vista de los costos de energía o de transporte. En este análisis supondremos que aquellos costos son constantes, con el fin de que queden de manifiesto las variables de las que más nos hemos de ocupar.

2. Posibilidad de reducir el costo en las actuales localizaciones

Como la energía representa aproximadamente el 20 % del costo total de producción del aluminio en lingotes, se podrían lograr reducciones considerables del costo total si se redujese el costo de la energía. Pero hemos visto que la reducción del aluminio se efectúa ya cerca de fuentes de energía barata, lo que se refleja en los precios medios de la energía comprendidos en el cuadro 11, que oscilan entre 1,6 y 2,1 milésimos de dólar por KWH.² Los costos atómicos estimados que se indicaron en el

² Los cálculos de la Surplus Property Board sobre costos de postguerra de la energía en fábricas que pueden competir en los actuales mercados, exceden de 2,1 milésimos de dólar por KWH en algunos casos. Un ejemplo notable de ello lo tenemos en Jones Mill, Arkansas, que puede considerarse un caso raro de producción orientada hacia la materia prima. Se basa la operación en la bauxita de Arkansas

capítulo I en ningún caso eran inferiores, ni siquiera iguales, a esos precios y las estimaciones que se consideraron más aceptables eran bastante mayores. Por consiguiente, llegamos a la conclusión de que la energía atómica no dará probablemente por resultado una reducción del precio de la energía para la industria del aluminio en los lugares donde hoy la encontramos ni tampoco una disminución de los costos del aluminio.

CUADRO 11. Costos de producción de lingote de aluminio. Costos de fábrica estimados correspondientes a la postguerra y para fábricas norteamericanas típicas, con referencia especial a los costos de la energía y al transporte de la bauxita y la alúmina^a

	Dólares por tonelada corta de lingote de aluminio	Porcentaje del costo total
Energía para la reducción electrolítica de la alúmina a aluminio	Dls. 28.80-37.80	19.1-19.7
Transporte de la bauxita y la alúmina	16.52-24.40	10.9-12.7
a. Bauxita desde la mina a la planta de alúmina	6.22-7.92	4.1-4.1
b. Alúmina desde la planta de alúmina a la de aluminio electrolítico	10.30-16.48	6.8-8.6
Otros costos	105.78-129.76	70.0-67.6
a. En la producción de alúmina	36.78-46.28	24.3-24.1
b. En la producción de aluminio (excluido el costo de la alúmina)	69.00-83.48	45.7-43.5
TOTAL:	Dls. 151.10-191.96	100.0-100.0

Fuente de información: datos adaptados de "Aluminum Plants and Facilities", Report of the Surplus Property Board to Congress, 21 septiembre 1945, op. cit.

^a Los datos se refieren únicamente a las fábricas de la Alcoa; los valores más bajos se refieren a la fábrica de la Alcoa que presenta los más bajos costos estimados de postguerra (en Badin, North Carolina). Los valores más altos se refieren a la fábrica de la Alcoa que presenta los más elevados costos estimados de postguerra (en Vancouver, Washington). En realidad, el informe indica una zona de costos para cada fábrica; dichos valores, por lo tanto, son los costos mínimos en Badin y los máximos en Vancouver. Los costos totales de postguerra estimados para las restantes fábricas de la Alcoa se encuentran dentro del margen aquí indicado, si bien otras fábricas pueden presentar costos por debajo o por encima del nivel que figura en el cuadro para alguna de las partidas.

Los costos de la Alcoa, conforme han sido estimados por la Surplus Property Board, excluyen toda ganancia entre compañías. Por lo tanto, el alto grado de integración vertical característico de la Alcoa da por resultado costos más bajos que en otro caso. Así, por ejemplo, los costos por transporte marítimo de la bauxita excluyen toda ganancia, dado que la compañía naviera es subsidiaria de la Alcoa, mientras que el transporte de la misma por ferrocarril es de presumir que comprende las ganancias de la compañía ferroviaria. Merece también hacerse notar que estos cálculos de los costos de postguerra están muy por debajo de los señalados en *Aluminum*, por N. H. Engle, H. E. Gregory, y R. Mossé, Chicago, Richard D. Irwin, Inc., 1945; hemos preferido utilizarlos porque parecen más recientes.

y la energía eléctrica se genera con gas natural. Las reservas de bauxita de Arkansas son muy limitadas y, por las razones que se exponen en una de las próximas secciones, la electricidad basada en el gas natural puede tener sólo limitada importancia para la industria del aluminio. Desde el punto de vista de nuestro análisis, el procedimiento adoptado en Jones Mill no se considera como una excepción importante.

3. Posibilidad de trasladar a nuevos lugares las plantas refinadoras de aluminio

a) MÁS CERCA DE LAS MATERIAS PRIMAS. ¿Se podría reducir mediante el uso de la energía atómica la necesidad de transportar la bauxita y la alúmina a grandes distancias? Las fábricas de la Alcoa a que se refiere el cuadro 11 obtienen virtualmente todo su aluminio a partir de bauxita extraída en la Guayana Holandesa.³ La bauxita se envía por vía marítima a Estados Unidos para su conversión en alúmina; los costos del citado cuadro están basados en la hipótesis de que esta última operación se lleva a cabo en la nueva fábrica de la Alcoa en Mobile, Alabama. La alúmina producida en ésta se manda luego a fábricas situadas cerca de energía barata para su reducción electrolítica a aluminio en lingotes. De acuerdo con los datos citados en el cuadro 11, y supuesto que permanecen constantes los otros costos, se podría economizar 11 a 13 % del costo de producción construyendo las fábricas para reducción del aluminio en las proximidades de los yacimientos de bauxita y de 7 a 9 % situando en Mobile la producción de aluminio. Sin embargo, esto supone que se podría disponer de energía atómica a 2 milésimos de dólar o menos por KWH; un costo tan bajo de esta energía es improbable de acuerdo con nuestros cálculos.

Por otra parte, los costos de producción en la Guayana Holandesa o en Mobile serían más bajos que en los centros hoy existentes si la electricidad atómica pudiera proporcionarse a menos de unos 3,5 ó 3,0 milésimos de dólar por KWH, respectivamente.⁴ Tarifas eléctricas de 3,0 a 3,5 milésimos por KWH caen efectivamente dentro del margen de costos atómicos estimados, aunque tarifas inferiores a 3,0 milésimos implican la realización de hipótesis extraordinariamente optimistas. Llegamos así a la conclusión de que los precios que se encuentran en la frontera de los costos atómicos realizables podrían hacer posible para la industria del aluminio la producción en nuevas localidades, pero que, en el mejor de los casos, sólo permitirán, probablemente, una ligera disminución en los actuales costos de producción de aluminio.

b) MÁS CERCA DEL MERCADO. Las ventajas y desventajas de cambiar la localización de las plantas de aluminio no se pueden determinar simplemente mediante un análisis de los costos de producción; debemos tam-

³ Se nos ha llamado la atención acerca del hecho de que parte de la producción de la Alcoa se realiza con bauxita de Arkansas. Sin embargo, esto no afecta seriamente al cuadro 11, que para simplificar considera a la Guayana Holandesa como fuente única, porque en todo caso es, con mucho, la fuente más importante.

⁴ Estas tarifas igualarían los costos de producción en las nuevas localidades y en las antiguas. Las economías de transporte compensarían justamente el aumento del costo de la electricidad.

bién considerar los costos comparativos del transporte del aluminio en lingotes al mercado desde las diferentes localidades. Estos costos son particularmente importantes en el caso de dicho metal, porque el situar la producción cerca de la energía a bajo costo la coloca con frecuencia en regiones muy alejadas de los mercados del aluminio. La falta de correspondencia geográfica entre el mercado y los centros de producción es evidente cuando se consideran los datos del cuadro 12. Por ejemplo,

CUADRO 12. Mercados y centros de producción de aluminio estimados por regiones

Región geográfica	Porcentaje probable del mercado norteamericano de postguerra para el aluminio ^a	Porcentaje probable de la capacidad norteamericana de reducción del aluminio después de la guerra
Nordeste	30-35	15-20
Sudeste	1-3	35-40
Pacífico Noroeste	1-3	30-35
Sudoeste	5-7	10-15
Medio Oeste	53-62	0
TOTAL (punto medio)	100.0	100.0

Fuente: *Aluminum*, por N. H. Engle *et al.*, *op. cit.*, cuadro 102, p. 348.

^a El mercado se expresa en función del consumo de aluminio metálico, no de aluminio en forma de productos acabados. Estos cálculos deben utilizarse sólo como una gruesa aproximación; los acontecimientos de los últimos años pueden haber cambiado los pormenores.

se estima que en Estados Unidos el Sudoeste y el Pacífico Noroeste, cada uno de los cuales posee más o menos el 35 % de la capacidad de producción de aluminio estimada para Estados Unidos en la postguerra, representan juntos 2 a 6 % del mercado norteamericano del aluminio después de la guerra. El Noroeste, con 30 a 35 % del mercado estimado de postguerra, posee de 15 a 20 % de la capacidad de refinación de aluminio; y el Medio Oeste, con 53 a 62 % del mercado de postguerra, carece de plantas reductoras de este metal. Esto significa que el aluminio se enviará para su manufactura del Noroeste y Sudeste al Oeste Medio y el Nordeste.

De las dos nuevas posibilidades de localización que hemos considerado, Mobile parece poseer cierta ventaja en el transporte respecto de las actuales localizaciones por lo que concierne a diversos mercados. Para servir el mercado Nueva York-Filadelfia, por ejemplo, los costos de transporte marítimo desde Mobile serían menores, probablemente, que los más bajos costos de transporte desde el Pacífico Noroeste o desde Alcoa, Tennessee. Los datos de un reciente estudio de la industria del aluminio indican que el costo de transportar una tonelada corta de aluminio desde estas dos localidades a la costa del Atlántico Medio es aproximadamente

de Dls. 20 por tonelada.⁵ Podemos estimar de modo aproximado que el costo de envío por mar desde Mobile a Nueva York sería alrededor de 25 % más barato.⁶

El ahorro posible en transporte al mercado de Nueva York desde Mobile, en comparación con el envío desde el Pacífico Noroeste o Tennessee, es, por lo tanto, de Dls. 5.00 por tonelada, ó 0.25 centavos por libra de aluminio. Esta economía, que es el equivalente de 0.28 milésimos de dólar por KWH de electricidad consumida en la producción de aluminio, incrementa hasta unos 3.25 milésimos de dólar por KWH la tarifa máxima en Mobile de la energía atómica (estimada antes en 3.0 milésimos) que haría que el aluminio producido en esta región para el mercado de Nueva York-Filadelfia fuese más barato que el producido en algunas de las actuales localizaciones. Esto hace más probable la ubicación en Mobile de instalaciones para la refinación del aluminio y amplía el margen posible de las reducciones del costo.⁷

C) LA ENERGÍA ATÓMICA Y LA EXPANSIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

En el análisis que precede hemos puesto de relieve el papel que representan los costos de la energía y el transporte en la determinación del costo total de producción del aluminio metálico. Como encontramos que los precios a los que las fábricas de aluminio adquieren hoy la energía están por debajo de los futuros costos probables de la energía atómica, juzgamos improbable que ocurran reducciones en el costo simplemente por abaratamiento de la energía. La posibilidad de reducir el costo a través de economías en el transporte como resultado de un cambio de localización sólo es ligeramente más prometedora, aunque tal vez se emplee a producir aluminio en nuevos lugares como resultado de la ener-

⁵ Engle, *et al.*, *op. cit.*, cuadro 103, p. 350. El costo mínimo desde el Pacífico Noroeste se calculó suponiendo que el transporte se efectúa por vía marítima a través del Canal de Panamá. Los costos desde Tennessee, se basan, evidentemente, en la más baja de las tarifas ferroviarias citadas.

⁶ La distancia desde Mobile a Nueva York es de 1.700 millas marinas, comparado con las 5.900 millas marinas que hay desde Portland, Oregon, a Nueva York. Aunque la primera distancia es aproximadamente $\frac{1}{3}$ de esta última, el costo de transporte se estima en $\frac{1}{4}$ debido a que las tarifas para distancias mayores son marcadamente más bajas por tonelada-milla. Si el flete relativo de transporte del aluminio desde Mobile a Nueva York fuese inferior a esto, la ventaja de Mobile sobre el Pacífico Noroeste sería evidentemente más grande.

⁷ La importancia de los costos de transportar el aluminio en lingotes al mercado indica que si la energía atómica hace económicamente factible refinar el aluminio en Mobile, por ejemplo, otras localidades, más próximas todavía al mercado, podrían beneficiarse de ella por lo menos en igual medida. No hemos analizado esta posibilidad, pero la creemos digna de estudio. Ciertos cálculos preliminares indican que las ventajas que hemos señalado en el caso de Mobile pudieran también vincularse a Nueva York, por ejemplo.

gía atómica. Sin embargo, el análisis se basa en la hipótesis de que la energía atómica debería competir con el costo extremadamente bajo de la hidroelectricidad que hoy utiliza la industria del aluminio. Esta hipótesis es objeto de examen en la presente sección, que trata de la expansión futura de la producción de aluminio.

1. *Aumento de la demanda de aluminio*

No se ha intentado en este análisis estimar la demanda futura de aluminio en Estados Unidos. Pero es importante notar que, con el constante aumento de demanda del mismo, el papel de la energía atómica en esta industria pudiera ser considerablemente mayor que en las condiciones que hemos supuesto en el análisis precedente. La producción media anual de aluminio en Estados Unidos cuadruplicóse aproximadamente en los 15 años comprendidos entre 1910-1914 y 1925-1929 y se multiplicó por un factor algo mayor que seis en los 15 años comprendidos entre 1925-1929 y 1940-1944. El nivel medio de producción de metal nuevo en 1940-1944 (547.000 toneladas cortas), refleja, en parte, la muy elevada producción de los años de guerra. Pero esto no invalida necesariamente la importancia de un aumento de la producción en tiempo de paz, puesto que ésta fué de 520,000 toneladas en 1947 no muy por debajo, por consiguiente, del promedio correspondiente a 1940-1944.

Si, conforme se afirma frecuentemente, el uso de metales ligeros se encuentra todavía en su infancia, cabe esperar que su demanda continuará aumentando rápidamente. Una autoridad en este campo ha opinado que el aluminio "seguirá abriéndose paso gradualmente hacia el segundo lugar de producción por peso" entre los metales, y que "parece probable que llegue a ser un fuerte competidor por el segundo lugar en 1970".⁸ De acuerdo con esto, la producción total de aluminio en 1970 pudiera ser de alrededor de 2 millones de toneladas, que fué el nivel de producción en 1944 del metal que ocupaba entonces el segundo lugar: el cobre. La Bonneville Power Administration estimó para 1960 un nivel potencial de demanda de aluminio comprendido entre 1.90 y 3.15 millones de toneladas, de las cuales se supuso que 1.7 y 2.7 millones respectivamente, serían de metal nuevo.⁹ Debe hacerse observar que estas cifras entrañan una tasa de incremento de la producción en los próximos 15 a 25 años que no difiere mucho del coeficiente de aumento en períodos anteriores.

⁸ Zay Jeffries, Departamento de Química de la General Electric Company, en "Metals and Alloys of the Future", *American Metals Market*, vol. 54, 28 marzo 1947, p. 7.

⁹ Manuscrito inédito sobre la industria del aluminio, por Samuel Moment, preparado para el estudio del desarrollo industrial estimado y de las necesidades de energía en el Pacífico Noroeste, Bonneville Power Administration, 15 agosto 1947.

2. *Demanda de energía como consecuencia del aumento de la producción de aluminio*

Si los anteriores cálculos del posible aumento de la demanda de aluminio son exactos, la demanda de electricidad para la reducción del mismo crecerá desde 10,000 millones (10⁹) de KWH en 1947 hasta entre 31,000 y 49,000 millones de KWH en 1960 ó 1970. El aumento promedio sería de 30 mil millones de KWH aproximadamente, lo que a un factor de carga de 100 % para las fábricas de aluminio requeriría una capacidad eléctrica adicional de 3.5 millones de kilovatios.

¿Se podrá disponer de 3.5 millones más de kilovatios a costos tan bajos como aquéllos de que goza hoy la industria del aluminio? La respuesta depende esencialmente de nuestra posibilidad de aumentar en gran escala nuestra capacidad hidroeléctrica para producir electricidad a un precio igual al que cobran hoy los productores de electricidad a más bajo costo. Para determinar exactamente este punto se requerirían detallados estudios de los aprovechamientos hidroeléctricos potenciales, estudios que rebasan el objeto de este libro. Las siguientes comparaciones sirven para apreciar la magnitud de este problema: 3.5 millones de kilovatios constituyen casi el 25 % de la capacidad hidroeléctrica total instalada para uso público en Estados Unidos en 1946, de la cual tan sólo una pequeña parte produce energía hidroeléctrica sumamente barata; o, de otro modo, en 1946 la capacidad generadora de todas las centrales hidroeléctricas de propiedad federal, capacidad que incluye la mayor parte de la electricidad a bajo costo producida para fines múltiples, era de cerca de 4.5 millones de kilovatios.¹⁰ Por consiguiente, aunque no podemos concluir que no será posible contar con energía hidroeléctrica barata para satisfacer las futuras necesidades de la industria del aluminio, debemos comprender que la oferta futura de energía hidroeléctrica barata puede ser inferior a las necesidades estimadas de dicha industria. Muy bien puede ocurrir que los productores de aluminio se vean forzados a pagar precios más altos por una importante parte de sus nuevas necesidades de electricidad.

Las bajas tarifas de electricidad que se aplican a la industria del aluminio pueden no aplicarse a las futuras instalaciones por otra razón. Esas tarifas están basadas en los costos de construcción vigentes cuando se construyeran los sistemas hidroeléctricos en cuestión: en la década anterior a la guerra en el caso del Pacífico Noroeste y el Valle del Tennessee. Los costos de construcción han sufrido desde entonces rápido aumento. Por ejemplo, entre 1939 y 1946 el costo del equipo de las instalaciones hidroeléctricas aumentó en cerca del 50 %, conforme resulta del examen

¹⁰ Edison Electric Institute, *Statistical Bulletin*, 1946, Nueva York, julio 1947, p. 14.

de algunos de los principales renglones del equipo.¹¹ Sobre esta base, un proyecto que a los costos de construcción de preguerra podría vender electricidad a 2 milésimos por KWH, de construirse en 1946, tal vez tendría que cargar por la electricidad un precio de 3 milésimos de dólar por KWH. Esto, claro está, no es más que un ejemplo, pero debemos recordar que nuestros costos atómicos han sido estimados en relación con el último período. En lo que concierne a la competencia futura entre centrales de energía atómica y nuevas centrales hidroeléctricas, los costos vigentes para ambas en 1946 constituyen probablemente la medida de comparación más apropiada.

A decir verdad, se ha considerado ya cuestión de cierto interés determinar cómo podría hacerse que el suministro de electricidad barata continúe a disposición de la industria del aluminio. El *Engineering and Mining Journal* de junio de 1948¹² afirma en un editorial que hay que esperar costos mucho más elevados en los futuros aprovechamientos hidroeléctricos y que la demanda será muy alta, incluso para esta energía a costo más elevado, a medida que regiones como el Pacífico Noroeste lleguen a estar más pobladas e industrializadas. Dicho editorial continúa diciendo: "Entretanto, se nos informa que los productores de aluminio están considerando Texas, con su abundante producción de gas y su accesibilidad para la bauxita de América del Sur y del Caribe, como un lugar apropiado para una nueva instalación. Sin embargo, otras industrias dirigen la atención hacia el gas del Sudoeste, entre ellas la fabricación de gasolina sintética y el tendido de nuevos gasoductos. Por consiguiente, existen por lo menos ciertos fundamentos para preguntarse si en el futuro se podrán satisfacer las demandas de aluminio sin un aumento en el precio del mismo que garantice a los productores la satisfacción de sus necesidades de energía."

A medida que el costo de la energía aumente en aquellos sitios que han poseído hasta hoy como única ventaja la energía barata, otros centros de producción más próximos a las materias primas o a los mercados ejercerán, evidentemente, cada vez mayor atracción. Hasta qué punto debe ser barata la energía en estos últimos para que los productores de aluminio prefieran construir en ellos sus nuevas fábricas en vez de en los centros de energía hidráulica, no podrá determinarse mientras no se conozca el costo de la energía hidroeléctrica generada en nuevas presas. Podemos hacer notar, a modo de ejemplo, que si la energía hidroeléctrica para la reducción del aluminio costase 3 milésimos de dólar por KWH en el centro de producción de costo más elevado que se indica en el cuadro 11, conservándose constantes los otros costos, la producción se-

guiría siendo más barata en Mobile mientras el costo de la electricidad no excediese allí de 3,9 milésimos de dólar por KWH. La energía atómica a un precio inferior a 3,9 milésimos de dólar por KWH con un factor de carga de 100 % cae dentro del margen de costos atómicos mínimos realizables estimados en el capítulo I.

Por supuesto, si el costo de la energía hidroeléctrica aumenta a medida que se agota el potencial de los centros generadores más baratos, tenderá a aumentar la atracción ejercida por otros lugares de producción independientemente de que llegue o no a aprovecharse la energía atómica. El editorial que acabamos de citar indica que ya comienza a manifestarse este proceso. Por ejemplo, se puede producir electricidad a menos de 3.9 milésimos de dólar, al 100 % de carga, en modernas plantas de vapor que utilizan combustible muy barato. Por tanto, las áreas situadas a orillas del Golfo de México pudieran ser cada día más atractivas para la localización de fábricas de aluminio, ya que podrían disponer de electricidad barata generada con el gas natural procedente de los pozos próximos. Existen, sin embargo, las siguientes razones para creer que dadas ciertas características especiales de la energía atómica ésta puede ejercer una acción más eficaz que los combustibles baratos comunes en cuanto al desplazamiento de la producción de aluminio de los centros de energía hidroeléctrica.

a) El costo de la electricidad atómica no variará grandemente de un lugar a otro, mientras que el costo de la electricidad generada con combustibles ordinarios varía con la distancia de la fuente de suministro del combustible. En consecuencia, la energía atómica barata permitiría un grado más elevado de orientación hacia las materias primas o hacia el mercado que lo que en general permitirían otros combustibles. Por ejemplo, si bien con electricidad generada con gas natural sería posible producir en la región de la costa del Golfo con la ventaja de una mayor proximidad a la bauxita y a ciertos mercados, con igual facilidad la energía atómica podría permitir una producción aún más cerca del mercado, por ejemplo en el área de Nueva York.

b) La electricidad barata basada en un combustible como el gas natural podría no atraer fábricas de aluminio, debido a la incertidumbre respecto a su costo futuro. Los costos de la energía atómica, al igual que los costos de la hidroeléctrica, se compondrán probablemente, casi por completo, de cargas fijas sobre la planta y el equipo, cargas que se mantendrán sensiblemente constantes durante toda la vida de la planta. En cambio, el costo de la electricidad generada con gas natural fluctuará de acuerdo con las variaciones en el costo de dicho combustible y podría aumentar bruscamente en una región dada si la producción declinase a medida que se agotaran los recursos locales. La incertidumbre por lo que se refiere a los costos futuros de éste combustible se aplica también al

¹¹ M. G. Salzman, "Design, Construction and Operation Control Rising Costs of Hydro Power", *Civil Engineering*, vol. 18, abril 1948, p. 23.

¹² Vol. 149, p. 68.

carbón; porque también en el caso de éste los costos pueden crecer a medida que empeoren las condiciones naturales y que aumenten los salarios de los mineros. Como las variaciones en los costos de la electricidad tienen importancia decisiva en la economía de la industria del aluminio, existirá una menor inclinación a cambiar el lugar de producción en busca de una fuente de electricidad cuyos costos pueden aumentar en busca de otra fuente cuyos costos permanecerán, con bastante probabilidad, sensiblemente constantes. Toda la fuerza de esta consideración se ha hecho ya sentir en los primeros intentos de establecer en Texas fábricas para la reducción del aluminio. En una nota del *Engineering and Mining Journal* se dice: "El único obstáculo que se ofrece a la elección de Texas es el costo del gas natural y la resistencia de los productores de gas a comprometerse en cualquier convenio a largo plazo a suministrar su producto en grandes cantidades."¹³

c) Cabe concebir que los costos de la electricidad atómica pudieran muy bien caer por debajo de los costos de la electricidad térmica ordinaria. Conforme indicamos en el capítulo I, es posible que los costos atómicos alcancen al final el nivel de costos de una central térmica ordinaria que funcionase con combustible de costo casi nulo; los costos de la electricidad generada con combustibles ordinarios no puede bajar tanto, salvo en el caso relativamente raro de centrales situadas junto a yacimientos de petróleo y de gas que queman un gas que de otra manera se desperdiciaría.

3. Producción del aluminio a partir de minerales diferentes de la bauxita

El incremento de producción de aluminio en el futuro puede basarse en parte en materias primas que contienen aluminio y que se dan con más frecuencia que la bauxita. En años recientes se ha llevado a cabo un trabajo experimental bastante amplio encaminado a la recuperación de la alúmina del caolín y otras arcillas; algunos de los experimentos indican que el aluminio se podría producir empleando estos materiales más abundantes a expensas de un incremento en los costos del mismo de Dls. 40 por tonelada.¹⁴

Si resultara económicamente factible la recuperación de la alúmina de dichas arcillas, parte de la industria dejaría de utilizar materias primas extraordinariamente localizadas para emplear otras que se encuentran

¹³ Vol. 149, mayo 1948, p. 106.

¹⁴ Basado en una comparación de los costos estimados de la producción de alúmina en Mobile en la postguerra ("Aluminum Plants and Facilities", *op. cit.*, p. 115) con los costos estimados para un nuevo procedimiento que utiliza el caolín (Departamento del Interior de los E. U., Oficina de Minas, R. I. 4069, Frank J. Cserenyak, "Recovery of Alumina from Kaolin by the Lime-Soda Sinter Process" mayo 1947, p. 41).

puede decirse que casi en todas partes. Por ejemplo, podría ocurrir que estas arcillas se encontrasen tan uniformemente distribuidas, que siempre fuese bastante probable encontrarlas cerca de la energía hidroeléctrica barata. En tal caso, los costos de transporte de la bauxita y la alúmina, tan importantes hoy en la producción del aluminio, podrían evitarse, con lo que carecerían ya de importancia las economías en el transporte de las materias primas posibilitadas por la energía atómica.

Actualmente no cabe efectuar una comparación precisa entre la producción de alúmina de arcilla y bauxita. Sin embargo, podemos formular dos proposiciones generales tocante a cómo resultarían alterados los posibles efectos de la energía atómica en la industria del aluminio si ésta utilizara arcillas que se encuentran prácticamente en todas partes. En primer lugar, si la producción de aluminio se basa en esas arcillas, los efectos locacionales de la energía atómica quedarían limitados a imponer un más alto grado de orientación hacia el mercado. El costo de la electricidad atómica, en la vecindad de los mercados, podría exceder en este caso al de la energía hidroeléctrica barata en no más del costo de transportar el producto acabado al mercado. Dado que estos costos de transporte son a menudo considerables, como en el caso del transporte del aluminio desde el Pacífico Noroeste a Nueva York, las ventajas locacionales de la energía atómica podrían ser muy considerables. En segundo lugar, la presión ejercida sobre la energía hidroeléctrica barata por el aumento de la producción de aluminio, no disminuirá a causa del uso de las arcillas; si los costos hidroeléctricos suben ello tenderá a acentuar la atracción de una energía atómica orientada hacia los mercados.

D) APLICACIÓN DEL ANÁLISIS A OTROS PAÍSES

Tres amplias conclusiones, por lo menos, podemos deducir respecto a las consecuencias de la energía atómica en la industria norteamericana del aluminio. La primera se refiere a la posibilidad de reducir el costo del aluminio mediante la utilización de energía atómica. Consideramos improbable que el costo de la energía en los actuales centros de producción se reduzca, o que resulten economías considerables, por la instalación de las fábricas en lugares situados más cerca de la bauxita o de los mercados del aluminio. Nuestra segunda conclusión es que la energía atómica podría estimular la producción en lugares más próximos a los yacimientos de bauxita o a los mercados del aluminio, si bien ello conduciría únicamente a ligeras reducciones en los costos de dicho metal. Finalmente, creemos que la energía atómica puede contribuir a proporcionar la energía eléctrica requerida por una industria del aluminio que habrá crecido extraordinariamente, puesto que la energía hidroeléct-

trica disponible para algunas de sus futuras necesidades de electricidad será más costosa que la hoy utilizada.

Nuestra conclusión negativa en cuanto a posibles reducciones del costo y al carácter meramente exploratorio de las conclusiones segunda y tercera se apoyan en la relativa abundancia de energía hidráulica en Estados Unidos. La electricidad se entrega a las fábricas de aluminio en sus actuales localizaciones a un precio tan barato, que será muy difícil conseguir nuevas reducciones del costo de la energía mediante el uso de la energía atómica. Además, el ahorro de costos de transporte que podría conseguirse orientando la producción más cerca de la bauxita o de los mercados, quedaría en gran parte contrarrestado por los costos más elevados de la electricidad atómica en estas nuevas localidades, en comparación con los lugares en que hoy se encuentra la industria. Sabemos también que no se han agotado las oportunidades para aprovechamientos hidroeléctricos similares a los que hoy proporcionan electricidad barata, aunque los costos de construcción han aumentado considerablemente.

Claro está, pues, que la aplicabilidad del análisis precedente a otros países que en la actualidad producen aluminio, o pueden producirlo en el futuro, depende principalmente de la energía hidráulica barata de que dispongan. Otro factor importante es el costo relativo del transporte en estos países. Si sus cargas por este concepto son más elevadas que en Estados Unidos, la energía hidroeléctrica barata resultará menos atractiva que en nuestro país comparada con la localización de la producción cerca de las materias primas o de los mercados, y viceversa. Esto, a su vez, vendrá determinado en gran parte por su mayor o menor utilización, comparada con la de Estados Unidos, de un medio de transporte relativamente barato, por ejemplo el fluvial o marítimo.

A falta de un análisis detallado por países, nos vemos obligados a emplear índices muy generales de la posición de las varias naciones productoras de aluminio en lo que atañe a la posible importancia de la energía atómica. El índice general que hemos utilizado aquí es la disponibilidad de energía hidroeléctrica barata de acuerdo con el mapa de costos de la electricidad (capítulo II, mapa 1). Este mapa está sujeto a grandes limitaciones por lo que hace a la energía hidroeléctrica, para la cual no se dispone generalmente de datos de costos.

Partiendo de esta base, encontramos que, aparte Estados Unidos, los principales países productores de aluminio antes de la guerra, que podían disponer de electricidad barata y los que no se hallaban en esa situación eran los siguientes:¹⁵

¹⁵ Para este objeto se ha empleado un costo de 4 milésimos de dólar por KWH como línea divisoria entre energía hidroeléctrica barata y cara. Dado que desconocemos el factor de carga para la mayor parte de estos sitios, no se puede determinar si se trata efectivamente de electricidad tan barata como la consumida por los productores de aluminio de Estados Unidos.

Países con energía hidroeléctrica barata		Países sin energía hidroeléctrica barata
Canadá	Noruega	Francia
Italia	Suiza	Alemania
Japón	U.R.S.S.	Reino Unido

Dos importantes hechos merecen ser notados con relación a esta clasificación. El primero es que las naciones que aparecen en la columna de la derecha acaso posean algunos centros de energía hidroeléctrica a bajo precio para los que no se indica dato alguno en el mapa de costos de la energía; por ejemplo, Francia cuenta con una buena cantidad de energía hidráulica parte de la cual puede ser muy barata. Además, hemos de recordar que un país no tiene porqué descansar sobre su propia producción de electricidad para producir aluminio; Francia o Alemania, por ejemplo, podrían importar corriente eléctrica de Suiza para dicho fin.

Nuestra conclusión provisional es, por lo tanto, que sería más probable una reducción de los costos del aluminio debida a la energía atómica en Francia, Alemania y el Reino Unido que en Estados Unidos, mientras que Canadá, Italia, Japón, Noruega, Suiza y la Unión Soviética, al igual que nuestro país, no experimentarían tales reducciones del costo. En el caso de la Unión Soviética, con sus vastas distancias y un sistema de transportes relativamente pobre, acaso se consiguieran costos más bajos si se situasen las fábricas de aluminio más cerca de los depósitos de bauxita, pero incluso esto es discutible debido a la energía hidroeléctrica extraordinariamente barata de la presa del Dnieper, centro de buena parte de la producción soviética de aluminio antes de la guerra.¹⁶

Como en el caso de Estados Unidos, la energía atómica puede representar en estos países un papel más importante a medida que crezca en ellos su producción de dicho metal. Entre las citadas naciones, Canadá y Noruega poseen probablemente energía hidroeléctrica lo bastante barata para poder realizar un gran incremento en su producción de aluminio.¹⁷ Italia, por otra parte, está alcanzando, según parece, el límite supe-

¹⁶ Instituto Krzizhanovsky de Energía, *Electric Power Development in the U.S.S.R.*, op. cit. Las tarifas en el Dnieper de cerca de 0.5 milésimos por KWH (conforme se indican en el mapa de costos de la energía) harían factible el transporte de materias primas y productos acabados a distancias extraordinariamente grandes. Los costos de la energía eléctrica que indicamos para la Unión Soviética dependen de nuestro tipo de conversión del rublo en dólares. (Véase capítulo II, A.1.d.)

¹⁷ Desde que este capítulo fué escrito, se han hecho públicos planes de la Aluminum Company of Canada para construir en la Columbia Británica una planta reductora de aluminio que costaría entre 200 y 300 millones de dólares, en un sitio de energía hidroeléctrica a bajo costo. (*New York Times*, 11 septiembre 1949, sección III, p. 1, col. 6). El aluminio ahí producido podría también competir en ciertos mercados de Estados Unidos, aunque es de presumir que no más favorablemente de lo que pueden hacerlo las fábricas de aluminio que existen en el Pacífico Noroeste.

rior de su potencial de energía hidráulica; por consiguiente, para acrecer esencialmente su producción de aquél metal debería utilizar probablemente energía más cara.¹⁸ Tanto Suiza como el Japón representan un caso menos definido, dado que poseen recursos de energía sin explotar, pero existen razones para creer que el aprovechamiento de esos recursos es relativamente costoso.

En la Unión Soviética los estudios de anteguerra relativos a la planificación a largo plazo ponen de relieve la íntima relación entre el desarrollo de industrias de proceso eléctrico, como la del aluminio, y el aprovechamiento de la energía hidráulica del país. Por ejemplo, se declara oficialmente que "...en los futuros estadios de construcción, la ubicación de las industrias consumidoras de electricidad estará vinculada en gran medida al aprovechamiento hidroeléctrico."¹⁹ La misma fuente oficial expresó su confianza de que se podría disponer de la energía hidráulica necesaria para mantener este crecimiento, destacando especialmente la energía hidráulica sumamente barata situada en los límites sudorientales de la Unión Soviética, particularmente a lo largo de los ríos Angara, Irtysh y Yenisei y sus afluentes. Como se proyectan extensos aprovechamientos hidroeléctricos en estos ríos, con costos futuros estimados tan bajos que están comprendidos entre 0.5 y 1 milésimo de dólar por KWH,²⁰ es lícito suponer que la energía atómica tendría poca importancia para el crecimiento futuro, aun cuando permitiera una mejor orientación de la producción hacia los mercados o las materias primas.²¹

A pesar de esos proyectos de largo alcance con vistas a utilizar energía hidráulica barata, los recientes aumentos de capacidad en la industria del aluminio se han realizado cerca de los yacimientos de bauxita en los Urales, en la vecindad de Sverdlovsk y Krasnovishersk.²² Estas posibles desviaciones de los antedichos planes, pueden haber sido una respuesta a los requerimientos bélicos que precisaran un rápido aumento de la producción y que hicieron desechar temporalmente el uso de recursos de energía hidráulica cuya explotación hubiera llevado mucho tiempo. Ade-

¹⁸ Es posible que parte de la producción de aluminio de Italia antes de la guerra estuviese basada en hidroelectricidad relativamente cara, puesto que buena parte de la energía hidroeléctrica de esta nación supera en precio los 4 milésimos por KWH.

¹⁹ *Electric Power Development in the U.S.S.R.*, op. cit., p. 364.

²⁰ *Ibid.*, pp. 466, 470. Ciudades importantes en las regiones cuyo aprovechamiento se ha planeado son Semipalatinsk y Krasnoyarsk.

²¹ Estos centros de producción estarían situados aproximadamente entre 800 y 1.500 millas de distancia de los posibles centros de producción en los Urales. De acuerdo con nuestro análisis, regiones productoras de Estados Unidos con tarifas eléctricas menos favorables de las que se proyectan para estas regiones, podrían probablemente entregar el producto a mercados situados todavía a mayores distancias, a un precio más bajo del que pudiera ofrecer la producción basada en la energía atómica en las regiones consumidoras.

²² *Business Week*, n° 958, 10 enero 1948, pp. 97-98, basado en N. N. Mikhailov, *Map of the Fatherland*, 1917-1947.

más, puede haber sido difícil, debido a presiones de tiempo de guerra, proporcionar el transporte a grandes distancias desde las regiones que poseen energía hidráulica barata a las instalaciones de fabricación. La electricidad en esta región se genera actualmente con combustible en vez de con energía hidráulica. Si la concentración de la producción de aluminio en esa región se basa en consideraciones estratégicas o económicas durables, la energía atómica podría posiblemente proporcionar electricidad más barata que aquélla de que podría disponerse en otras circunstancias.²³

²³ Incluso si no se construyen en esta región nuevas fábricas de aluminio, las ya construidas continuarán probablemente produciendo y podrían beneficiarse de la energía atómica.

El cloro y la sosa cáustica se obtienen conjuntamente en un proceso basado en electrolisis de la sal (cloruro sódico) en solución. Como en el caso del aluminio, el costo de electricidad para estos productos es un elemento bastante importante de la producción. Sin embargo, la electricidad requerida por unidad de producto es considerablemente menor que para aquél metal; además, en la extracción de los dos productos de la sal casi no se produce pérdida alguna de peso, comparado con la pérdida de conversión de la bauxita en aluminio.

Estas diferencias limitan el papel potencial de la energía atómica en la industria del cloro y la sosa cáustica en comparación con la industria del aluminio. Debido a las menores necesidades de electricidad por unidad de producto, la industria no siempre resulta hoy atraída hacia la electricidad de muy bajo costo. Como consecuencia de que la pérdida de peso en el tratamiento no es muy grande, las posibles economías de transporte de la materia prima tienen poca importancia. Conforme indicará el análisis que sigue, las posibles reducciones del costo de producción al utilizar energía atómica quedarán limitadas generalmente al abaratamiento de la energía en los actuales centros de producción.

Comienza nuestro análisis con un breve bosquejo de cómo se obtienen el cloro y la sosa cáustica. En una segunda sección se examinan las posibilidades de reducir los costos en la industria norteamericana. Finalmente, en la última sección se exponen algunas conclusiones generales.

A) LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FÁBRICAS

El paso de la corriente eléctrica a través de una solución de sal común en agua descompone la sal en cloro y sodio. El cloro queda en libertad como gas y el sodio reacciona con el agua para producir sosa cáustica (hidróxido sódico). En la reacción se libera también hidrógeno, que puede desecharse o usarse en la producción de otros compuestos.

Este proceso —la electrolisis de la sal en solución— es la única manera de producir el cloro comercialmente. Al extraer una tonelada de cloro se consigue a la vez poco más de una tonelada de sosa cáustica. La sosa cáustica se produce también comercialmente mediante otro proceso en el cual se caustiza el carbonato sódico con la cal. La importancia relativa de este último proceso ha ido declinando en los últimos años a causa de la creciente demanda de cloro; parece probable que la cantidad de sosa cáustica producida químicamente experimentará una decadencia ab-

Estados Unidos, el transporte de las materias primas a grandes distancias para aprovechar energía barata, como sucede en la industria del aluminio, es evidentemente antieconómico en la producción del cloro y la sosa cáustica. Por consiguiente, situar la producción cerca de energía muy barata será factible sólo en el caso de aquellos lugares de producción de energía que se encuentran a una distancia relativamente corta del mercado.

B) POSIBLES EFECTOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA

1. Importancia del costo de la energía

No hemos podido disponer de datos tocante a los costos de producción electrolítica del cloro y la sosa cáustica. Esta falta de cálculos publicados de costos quizá queda explicada por el hecho de que la mayor parte de las fábricas producen gran número de otros productos químicos, basados bien en los productos primarios o en otras sales de la salmuera. Por esto es difícil aislar el costo de los productos primarios.⁴ Pero, aún sin estos datos, podemos indicar la importancia de los costos de energía presentándolos como un tanto por ciento del precio de venta del producto. El cuadro que sigue, por ejemplo, muestra el costo de la energía eléctrica como porcentaje del precio de anteguerra de los dos productos en función de costos variables de la energía. Los cálculos suponen un consumo de 2,500 KWH por tonelada corta de sosa cáustica y 1,770 libras de cloro (equivalente a unos 2,850 KWH por tonelada corta de cloro) y se basan en un precio de 2.7 centavos por libra de sosa cáustica (76 % sólida) y 2.15 centavos por libra de cloro.⁵

Costo de la electricidad (milésimos de dólar por KWH)	Porcentaje del precio total
2.0	4.6
2.5	5.8
3.0	6.9
3.5	8.0
4.0	9.1
5.0	11.5
6.0	13.8
7.0	16.1

⁴ Cf. *Columbia River and Minor Tributaries*, vol. I, preparado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E. U., pub. por el 73º congreso, 1ª sesión, H. D. n° 103, Washington, Gov. Printing Of., 1933-1934, p. 293.

⁵ Cuadro adaptado de *Power Requirements in Electrochemical, Electrometallurgical, and Allied Industries*, por la Comisión Federal de Energía, Washington, Gov. Printing Of., 1938, p. 14, aplicando demandas de energía más recientes que las supuestas en ese estudio.

soluta.¹ En consecuencia, el examen que sigue se limita al procedimiento electrolítico en el que el cloro y la sosa cáustica aparecen como productos simultáneos.

En este proceso, aproximadamente 2 toneladas de sal y 2,850 KWH de energía eléctrica (2,450 KWH para la electrolisis, 400 KWH para iluminación y operaciones mecánicas y de otra especie) dan lugar a cerca de 1 tonelada de cloro y 1 de sosa cáustica.² Como casi todo el peso de la sal se recupera en los dos productos finales, no existe ventaja alguna evidente por lo que se refiere a los costos del transporte al situar la producción cerca de la materia prima en vez de cerca del mercado. Debido a que las tarifas del transporte son generalmente mayores para los productos finales que para el transporte de la sal, la ventaja en lo que concierne al costo de transporte favorece la orientación de mercado.³ Además —y es este un factor muy importante—, aunque no puede decirse que la sal se encuentre en todas partes, sí es cierto que se encuentra con relativa facilidad; por consiguiente, con frecuencia se podrá encontrar relativamente cerca de los posibles mercados para sus derivados.

No parece ser grande la atracción de los lugares de energía muy barata, alejados de los mercados. La razón de ello es clara en virtud de las siguientes relaciones: 1) como se necesitan cerca de 2,850 KWH por cada 2 toneladas de productos (1 tonelada de cloro y 1 tonelada de sosa cáustica) una diferencia de 1 milésimo de dólar por KWH en el costo de la electricidad conduce a un ahorro de solamente Dls. 2.85 para ambos productos combinados. 2) Supuestos los costos de transporte de los productos entre 1.0 y 1.5 centavos por tonelada-milla, una distancia adicional para aprovechar energía barata de no más de 100 a 140 millas anularía una ventaja en el costo de la electricidad de un milésimo por KWH; de 200 a 280 millas de transporte adicional neutralizarían una ventaja de 2 milésimos de dólar por KWH, etc. Como la diferencia entre los costos de generación de energía hidroeléctrica barata y energía térmica a un alto factor de carga (conforme estimamos el costo) no es, por regla general, mayor que unos 2 ó 3 milésimos de dólar por KWH en

¹ *Chemical Engineering*, vol. 55, febrero 1948, p. 107.

² Manuscrito inédito preparado por la Bonneville Power Administration.

³ Sobre las distancias, por ferrocarril, de 600 millas o más, un estudio del Coordinador Federal de Transportes muestra tarifas por tonelada-milla para el transporte de productos químicos en tanque que son cerca de 25 % más elevadas que para la sal. (*Freight Traffic Report*, vol. III, Washington, 1935, pp. 157, 159.)

Se nos ha señalado que el transporte de sal sólida puede no ser económico, en ciertos casos, incluso cuando las correspondientes tarifas son menores para la sal que para el cloro y la sosa cáustica. Esto se debe a que es más económico llevar la sal a las cubas electrolíticas en forma de salmuera; el costo de preparar la sal para su embarque y de producir salmuera con la sal embarcada puede ser bastante superior al costo de producción de salmuera en las salinas (introduciendo agua bajo tierra mediante pozos perforados) y anular la ventaja de costo que representa el transporte de la sal en vez del cloro y la sosa cáustica.

Estas cifras, que probablemente reflejan la zona de costos de la energía para las fábricas de cloro y sosa cáustica electrolíticas en todo Estados Unidos, indican claramente que el costo de la energía es un factor de bastante importancia dentro de los costos totales. Incluso a precios inferiores a 3 milésimos por KWH, el costo de la electricidad constituye hasta un 6 % del precio de los productos, comparado con un costo promedio de la energía de solamente 2 % para todas las industrias de transformación.

2. Reducciones posibles del costo mediante el uso de la energía atómica

Si la energía atómica reducirá o no los costos de la energía en esta industria y, de hacerlo, en qué cuantía, depende del precio a que hoy se entrega la energía a las fábricas electrolíticas de cloro y sosa cáustica. El informe de la Comisión Federal de Energía que acabamos de citar indica que los productores más representativos de esta industria trabajan con costos de la energía de unos 3.5 milésimos de dólar por KWH.⁶ Bajo ciertas hipótesis favorables, se podría a este precio entregar energía atómica a industrias con un elevado factor de carga de acuerdo con los cálculos del capítulo I. (Se estima que, en conjunto, las fábricas norteamericanas electrolíticas de cloro y sosa cáustica han trabajado en 1938 con un factor de carga de cerca del 75 %.)⁷ Partiendo de esta base, si bien la energía atómica se podría utilizar, ello no conduciría a reducciones sustanciales del costo.

Podemos suponer que en buen número de fábricas norteamericanas de cloro y sosa cáustica electrolíticas la electricidad cuesta más de 3.5 milésimos de dólar por KWH. Conforme se ha indicado anteriormente, esta industria posee características que la orientan en alto grado hacia el mercado. Esto trajo consigo una dispersión bastante amplia de las fábricas para satisfacer a mercados situados en diferentes partes del país, entrando en funcionamiento nuevas fábricas a medida que los mercados se desarrollaban en nuevas regiones.⁸ Se sabe que algunas de ellas tienen acceso a fuentes de energía hidroeléctrica barata, por ejemplo los productores de las Cataratas del Niágara. Otros dependen de la electricidad térmica y es de presumir que sus costos de energía varían según el precio regional del combustible.

Los datos disponibles no permiten proporcionar ejemplos de lugares en los que la energía atómica pudiera ser una fuente más barata de electricidad para los productores en esta industria. Cuando examinamos el mapa de costos de la electricidad (mapa 1) a la vez que un mapa de fá-

⁶ *Ibid.*, p. 14.

⁷ *Ibid.*, p. 68.

⁸ *Ibid.*, p. 69.

bricas de cloro y sosa cáustica,⁹ encontramos que algunos centros importantes para la producción de uno y otra se encuentran en regiones en las cuales la electricidad atómica podría facilitar, con un alto factor de carga, energía más barata que los combustibles comunes. Entre ellos se incluyen determinados centros en Michigan, New Jersey y Rhode Island (sobre la base de los precios de anteguerra del carbón), y posiblemente incluso West Virginia (sobre la base de los precios corrientes del carbón). Pero la exactitud de estas conclusiones es dudosa, porque el mapa de costos de la electricidad (y cálculos análogos) indica solamente el nivel general de los costos de la energía en diversas regiones. Ese nivel puede diferir considerablemente del costo de la energía para ciertas empresas que aprovechen cantidades limitadas de energía a bajo costo existentes en la región (por ejemplo en aprovechamientos de energía hidráulica dispersos) o que obtengan energía barata mediante acuerdos favorables con las compañías eléctricas locales, etc. Esto no invalida nuestra conclusión general, según la cual la energía atómica podría entrañar reducciones del costo en muchas regiones.

Un último punto debe ser puesto de relieve. Aunque la electricidad atómica pudiera reducir algo los costos de la energía en esta industria, el ahorro posible no sería probablemente mayor de un 5 %, conforme puede verse acudiendo a los valores arriba indicados. Por ejemplo, si la energía a 5 milésimos de dólar (valor razonable en varias partes de Estados Unidos para electricidad térmica con una carga del 75 %) se reemplazase por electricidad atómica a 3.5 milésimos de dólar por KWH, la reducción del costo de producción sería de alrededor de 5 %.¹⁰

C) ALGUNAS CONCLUSIONES GENERALES

Nuestro análisis indica que la energía atómica puede ser importante para las fábricas de cloro y sosa cáustica porque, tendiendo éstas a situarse cerca de los mercados, sus costos de energía varían considerablemente de una a otra región. Algunos de estos costos son probablemente más elevados que nuestros cálculos mínimos de los costos de la energía atómica en el futuro. Pero debemos recordar que la industria no ha buscado lugares dotados de energía muy barata porque su consumo energético por unidad de producto es moderado en comparación, por ejemplo, con el caso del aluminio. Esto significa que el efecto de pequeñas reducciones en los costos de la energía sobre los costos totales de producción es relativamente insignificante.

De la misma manera, como la producción continuará estando orienta-

⁹ *Ibid.*, p. 65.

¹⁰ Calculado suponiendo que los costos de producción son iguales al 75 % de los precios utilizados en el cuadro precedente.

da hacia los mercados, la energía atómica no podría de suyo favorecer nuevas localizaciones en esta industria, de la manera que consideramos posible en el caso de la industria del aluminio. Probablemente la energía atómica se utilizaría más bien sólo en lugares que ya ofrecen un mercado, debido a la concentración de otras industrias que consumen cloro y sosa cáustica o sus derivados.

Estas conclusiones son al parecer también aplicables a otros países cuya producción de cloro y sosa cáustica electrolíticos presenta probablemente la misma tendencia a situarse cerca de los mercados. Como el costo de la energía en los centros industriales varía más en la escala mundial que dentro de Estados Unidos, debe de haber numerosos lugares en que la energía podría proporcionar electricidad más barata.

Dos son las variedades de abonos fosfatados de uso común: el superfosfato ordinario y el superfosfato doble (o triple).¹ En los procesos actualmente empleados en Estados Unidos para producir este abono, se trata la roca de fosfato con ácido sulfúrico, para obtener para alimento del suelo el contenido, de otro modo insoluble, de la roca de fosfato. La roca de fosfato y el ácido sulfúrico son las materias primas; solo se utilizan insignificantes cantidades de energía. Pero la importancia de ésta aumentará considerablemente en el futuro si cobraran fuerza nuevas técnicas de fabricación de abonos que empleen fósforo elemental. En Estados Unidos se produce comercialmente el fósforo mediante la fundición en hornos eléctricos, operación ésta que exige grandes cantidades de electricidad por unidad de producto. Uno de los principales objetos de este capítulo es determinar si la energía atómica sería lo bastante barata, en lo que se refiere a la producción de abonos fosfatados, para fomentar la utilización del horno eléctrico en vez del proceso químico basado en el ácido sulfúrico.

También nos ocuparemos de los problemas de localización propios de los procesos químico y eléctrico. El proceso químico se usa para producir diferentes concentraciones de abonos fosfatados y la localización de la fábrica depende principalmente del tipo de abono que produce. Conforme veremos más adelante, pueden realizarse considerables economías de transporte en el caso de la variedad menos concentrada (superfosfato ordinario) si los centros de producción se sitúan cerca de los mercados del abono; en cambio, por lo que atañe a la variedad más concentrada (superfosfato doble), las economías de transporte son, por lo general, posibles si dichos centros se encuentran cerca de los depósitos de roca de fosfato. Esto es todavía más cierto en cuanto a la producción de fósforo elemental, de suerte que el incremento en la utilización de este método fomentaría, casi con certeza, la localización de nuevos centros productores cerca de las regiones ricas en roca de fosfato.

Nuestra comparación del método del horno eléctrico para producir fósforo elemental con el método basado en el ácido sulfúrico, ambos para obtener superfosfato doble, comprenderá tanto los costos de producción como los de transporte. La ventaja del transporte que trae consigo el uso del horno eléctrico tiene importancia para nosotros tanto por su efecto sobre el costo del abono fosfatado, como por el hecho de que puede estimular nuevos centros de producción.

Iniciamos el examen con una breve descripción del proceso de pro-

¹ Otras variedades, entre ellas el fosfato amónico y el ácido fosfórico líquido, se utilizan en muy pequeñas cantidades.

ducción que importa para nuestro análisis, insistiendo particularmente en su significado locacional. Sigue luego un análisis sobre los posibles efectos de la energía atómica, lo mismo en la difusión del uso del horno eléctrico que en el estímulo al aumento de nuevos centros de producción. En la sección final se consideran algunas de las consecuencias del análisis para otros países.

A) PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FÁBRICAS

1. Proceso del ácido sulfúrico

Casi todo el abono fosfatado que se utiliza en Estados Unidos se produce mediante la acción del ácido sulfúrico sobre la roca de fosfato, para obtener pentóxido de fósforo (P_2O_5), constituyente de la roca que sirve para alimentación de las plantas, en forma asimilable por estas.

El P_2O_5 se proporciona en dos concentraciones distintas: a) como superfosfato ordinario, que contiene generalmente entre 16 y 20 % de P_2O_5 ; o b) como superfosfato doble, que contiene por regla general entre 40 y 50 % de P_2O_5 .² Mientras el superfosfato ordinario se produce simplemente tratando la roca de fosfato con ácido sulfúrico, el superfosfato doble se obtiene produciendo primero ácido fosfórico mediante un proceso similar al usado para conseguir el superfosfato ordinario y utilizando luego el ácido así producido para tratar nueva cantidad de roca de fosfato.

El superfosfato ordinario es, con mucho, la más importante de las dos variedades de abonos fosfatados, ya que representa cerca de 90 % de la producción total norteamericana de dichos abonos (en términos de su contenido de P_2O_5). Aunque la producción absoluta de superfosfato ha aumentado mucho en los últimos quince años, su importancia relativa no ha cambiado apreciablemente.³ Los que propugnan el uso del superfosfato doble, producto relativamente nuevo comparado con el superfosfato ordinario, aducen que su importancia relativa aumentaría debido a las mayores economías en el transporte y empaque por unidad de contenido de alimento para las plantas, economías que resultan del uso de un material que se presenta en una forma más concentrada. Señalan que estas reducciones del costo significarán una economía importante para el agri-

² Esta última variedad se llama también superfosfato triple o superfosfato concentrado.

³ Basada en datos de un manuscrito inédito sobre la industria del abono fosfático por Lewis G. Prichard, Henry O. Parsons, Robert R. Stewart, y Roscoe E. Bell, preparado para el Estudio de la Cuenca del Columbia, acerca del aprovechamiento industrial y necesidades estimadas de energía en el Pacífico Noroeste, Bonneville Power Administration, junio 1947.

cultor, dado, sobre todo, que los experimentos indican que cantidades equivalentes de P_2O_5 disponibles en la forma de superfosfato doble dan lugar aproximadamente al mismo incremento en el rendimiento que el obtenido con superfosfato ordinario.⁴

Los factores determinantes de la localización de la fábrica difieren para uno y otro tipo de superfosfato. En la producción del superfosfato ordinario se economizan gastos de transporte enviando la roca de fosfato a las fábricas productoras situadas cerca de los mercados. Esto se debe principalmente a que la roca de fosfato posee por tonelada casi el doble en contenido de P_2O_5 que el superfosfato ordinario. Por consiguiente, producir una tonelada de este último que contenga 16 % de P_2O_5 requeriría cerca de $\frac{1}{2}$ tonelada de roca y alrededor de $\frac{1}{8}$ de tonelada de azufre (para producir $\frac{1}{2}$ tonelada de ácido sulfúrico al 70 %). Dado que a) el peso total de ambos es inferior al peso del producto final, y que b) las tarifas de transporte por tonelada-milla para cada uno son más bajas que las del abono, es de desear que los centros de producción se encuentren cerca del mercado.

Por otra parte, en la obtención del superfosfato doble generalmente se economizan costos de transporte situando las fábricas cerca de las materias primas. Ello se debe a que, conforme hemos visto, el contenido en P_2O_5 del superfosfato doble por tonelada es de cerca de $1\frac{1}{2}$ veces el contenido de la roca de fosfato. Para producir una tonelada de superfosfato doble que contenga entre 40 y 50 % de P_2O_5 son necesarias alrededor de $1\frac{1}{2}$ toneladas de roca y 0.25 toneladas de azufre aproximadamente (para producir cerca de 1 tonelada de ácido sulfúrico al 70 %), de modo que el peso total de ambos es un 75 % mayor que el peso del producto final.⁵ El peso menor de éste podría compensarse si, por ejemplo, las tarifas de transporte fuesen el doble de las correspondientes a las materias primas, pero los datos disponibles acerca de las mismas indican que no es éste el caso general.⁶

⁴ A. L. Mehring, "Double Superphosphate", Departamento de Agricultura de los E. U., Circular n° 718, Washington, Gov. Printing Of. diciembre 1944. Algunos de los factores que han retrasado el crecimiento de la industria del superfosfato doble son, al parecer, los siguientes: 1) los perfeccionamientos técnicos que conducen a la producción de abonos más altamente concentrados son de origen relativamente reciente; 2) la adopción de un producto nuevo es siempre lenta, incluso cuando se ha demostrado su superioridad; y 3) la maquinaria destinada a aplicar el abono en el campo se ha diseñado para distribuir superfosfato ordinario. (*Columbia River and Minor Tributaries*, op. cit., p. 189).

⁵ Esto entraña una hipótesis (no necesariamente decisiva para la conclusión a que se llega) según la cual el azufre se encuentra cerca de la roca de fosfato. Tal hipótesis se basa en condiciones que se dan en Estados Unidos, donde el azufre se produce casi por completo en Texas y Louisiana, al otro lado del Golfo de México, frente a la Florida, regiones en las que se extrae también la mayor parte de la roca de fosfato norteamericana.

⁶ Véase el cuadro 13.

2. Proceso del horno eléctrico⁷

La roca de fosfato se funde en el horno eléctrico para producir fósforo elemental. Además de sus otros usos, principalmente en la fabricación de productos químicos, el fósforo elemental puede utilizarse en la preparación de superfosfato doble como fertilizante. Esto implica, en primer lugar, la transformación del fósforo elemental en ácido fosfórico y, en segundo lugar, el tratamiento de la roca de fosfato con este ácido. Este segundo paso es en esencia el mismo que en el proceso basado en el ácido sulfúrico que acabamos de describir; la única diferencia consiste en la manera de producir el ácido fosfórico. Mientras que en el primer método se obtiene mediante la aplicación de ácido sulfúrico a la roca de fosfato, en el método del horno eléctrico el ácido fosfórico se produce quemando fósforo elemental y absorbiendo en agua el pentóxido de fósforo resultante.

Si la roca de fosfato se utiliza para producir fósforo elemental en vez de superfosfato doble, queda abierto el camino para nuevas economías de transporte. En vez de convertir el fósforo elemental en superfosfato doble en el mismo sitio de producción del fósforo, se puede enviar tanto el fósforo elemental como la roca de fosfato a lugares más próximos al mercado de fertilizantes para la última fase de producción. Para producir una tonelada de superfosfato doble se necesitarían cerca de 283 libras de fósforo elemental y 900 libras de roca de fosfato, y puesto que el peso combinado de las dos materias primas es poco mayor que la mitad del peso del producto final, resultaría provechoso, probablemente, transportarlos en lugar del superfosfato doble. La cantidad economizada dependería de las tarifas comparativas del transporte de los distintos materiales, tarifas que examinaremos más adelante.⁸

La producción de 1 tonelada corta de fósforo elemental en el horno eléctrico requiere las siguientes cantidades de materiales y electricidad (valores aproximados):

roca de fosfato	7 toneladas
coque	1.5 "
cantos silíceos	2 "
energía eléctrica	13.000 KWH

⁷ Se limita el análisis en este capítulo al fósforo elemental usado en la producción de superfosfato doble. Podrían resultar conclusiones muy diferentes con respecto a su uso en otros productos (no fertilizantes).

⁸ Véase el cuadro 13.

⁹ Como, por ejemplo, en la producción de aluminio (capítulo IV). Nótese, sin embargo, que la reducción del aluminio exige más electricidad por tonelada de producto y que la pérdida de peso que tiene lugar desde la bauxita al aluminio no es tan grande. La roca de fosfato podría ser enviada a sitios con energía hidráulica barata a distancias que son sólo una parte de las comunes en la producción del aluminio.

El coque se precisa como agente reductor y la sílice como fundente. Dado que se requieren tantas toneladas de roca por tonelada de producto final, es claro que las economías de transporte dictarán generalmente que la producción se realice cerca de los depósitos de roca de fosfato, con tal que el precio de la electricidad no sea allí mucho más alto que en algún otro sitio posible. Si en las proximidades hay un aprovechamiento de energía hidráulica a bajo costo, podría justificarse el transporte de, incluso, grandes cantidades de materias primas que sabemos pierden peso.⁹ Más adelante estudiaremos esta cuestión.

3. Los costos de transporte del abono de superfosfato: síntesis

El cuadro 13 será una referencia útil para el siguiente análisis. En él se resumen buen número de las relaciones de transporte que acabamos de examinar y se presentan en términos de costos de manera que resultan fácilmente comparables. La comparación de las columnas (3) y (4) para las dos primeras categorías pone de manifiesto la ventaja de producir cerca de los mercados en el primer caso y cerca de la materias primas en el segundo. Por su parte, el examen de la columna (5) muestra las grandes economías de transporte por tonelada de abono fosfatado para las plantas si se transporta el superfosfato doble en lugar del superfosfato ordinario. Finalmente, la comparación de las columnas (3) y (4) para las dos últimas categorías pone de relieve la ventaja adicional de transporte que resulta al producir fósforo elemental cerca de la roca para transportarlo (junto con la roca de fosfato necesaria) más cerca del mercado para su conversión en superfosfato doble.

Por consiguiente, podemos resumir nuestras conclusiones diciendo que si se utiliza superfosfato ordinario, está económicamente justificada la producción cerca del mercado. Por otra parte, puesto que el superfosfato ordinario es de transporte más caro (y, por inducción, también lo es en cuanto al empaque, mercado, etc.) que el superfosfato doble, es de presumir que la popularidad de este último, relativamente un recién llegado, crecerá a expensas del primero. Los sitios de producción cerca de la roca de fosfato están generalmente justificados para la obtención de superfosfato doble mediante el ácido sulfúrico. Todavía puede economizarse más en el transporte si la producción de superfosfato doble se basa en el fósforo elemental, pues en tal caso cuesta menos transportar el fósforo elemental (junto con la roca de fosfato necesaria) al centro de producción próximo al mercado que transportar el superfosfato doble.

CUADRO 13. Costos y necesidades de transporte del superfosfato fertilizante por diferentes concentraciones y diferentes procesos de producción^a

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Producto final (el contenido de P_2O_5 entre parentesis)	Principales materias primas consumidas por tonelada de producto final (cantidades aproximadas)	Costos representativos del transporte por ferrocarril de las materias primas requeridas por tonelada de producto final	Costos representativos del transporte por ferrocarril del producto final a 500 millas	Costos representativos del transporte por ferrocarril a 500 millas de 1 tonelada de P_2O_5 en forma de producto final ^b
Superfosfato ordinario (16 a 20 %).	Roca de fosfato ½ ton. Azufre ¼ ton.	\$ 2.50	\$ 5.85	\$ 32.50
Superfosfato doble obtenido con el método del ácido sulfúrico (de 40 a 50 %).	Roca de fosfato 1½ ton. Azufre ¼ ton.	" 7.00	" 5.85	" 12.19
Superfosfato doble obtenido del fósforo elemental (de 40 a 50 %).	Fósforo elemental 283 lib. Roca de fosfato 900 lib.	" 3.75	" 5.85	" 12.19

^a Todas estas cifras son aproximadas. Se basan principalmente en datos de Roscoe E. Bell y Donald T. Griffith, "Transportation Costs as They Affect New Phosphorus Industries in the West", Programa para los abonos fosfatados del Oeste, junio 1947, y Roscoe E. Bell, "Transportation Costs of Sulphur", Comité de Coordinación del Pacífico Noroeste, abril 1948. De ambos informes se han publicado copias mimeografiadas por el Departamento del Interior de los EE. UU. Los fletes utilizados en todo el cuadro fueron los vigentes antes del 1º de julio de 1946.

^b Valores de la columna (4) divididos por el contenido promedio de P_2O_5 en el producto final.

B) POSIBLES EFECTOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA

Para simplificar cuanto sea posible este estudio, hemos limitado el análisis siguiente a la roca de fosfato de la Florida, que en 1947 representaba cerca del 75 % de toda la roca de fosfato extraída en Estados Unidos. Con respecto a ella, consideramos dos cuestiones: 1) ¿Sería lo bastante barata la energía atómica para hacer que la fundición eléctrica de la roca de fosfato en Florida pudiera competir con el proceso del ácido sulfúrico para la producción del superfosfato doble? 2) ¿Sería más barato utilizar en Florida energía atómica para la fundición eléctrica de la roca de fosfato local que enviarla a centros hidroeléctricos de bajo costo situados en otra parte?

Esta limitación la establecemos basados en las siguientes hipótesis principales: 1) No es menester considerar la competencia del superfosfato ordinario, porque el transporte y otras economías asegurarán la importancia siempre creciente del superfosfato doble comparado con el superfosfato ordinario. 2) No es necesario considerar la competencia de la roca de Tennessee fundida eléctricamente utilizando energía de la administración del valle de Tennessee, porque los yacimientos del Tennessee son muy limitados y no pueden sustentar el futuro crecimiento de la industria. La propia Administración del valle de Tennessee recomendó el uso de roca de Florida para disminuir la presión sobre los recursos del Tennessee.¹⁰ 3) Tampoco es necesario considerar la competencia del fósforo fundido eléctricamente y basado en los enormes yacimientos de roca de fosfato de ciertos Estados del Lejano Oeste (Idaho, Wyoming, Utah, y Montana), hasta ahora prácticamente inexplorados, porque, aun sobre hipótesis generalmente favorables a esta región, el fósforo producido allí no podría probablemente competir con la producción del Este en buena parte del Sur, Este y Centro de Estados Unidos (donde están las regiones que más abono fosfatado consumen).¹¹

1. Costos comparativos del proceso del ácido sulfúrico y del horno eléctrico alimentado con energía atómica en la producción de abonos en la Florida

La energía atómica carecerá de importancia en la futura producción de abono fosfatado en Florida a menos que pueda proporcionar el abono a un precio menor o igual al producido con el ácido sulfúrico. Para determinar hasta qué nivel debió bajar el precio de la energía atómica, he-

¹⁰ *Annual Report of the Tennessee Valley Authority, 1944*, Washington, G.P.O., pp. 10-11.

¹¹ Bell y Griffith, *op. cit.*, pp. 19 ss.

mos reunido algunas estimaciones de costos comparativos de producción referentes a ambos procesos, el del ácido sulfúrico y el eléctrico. Los datos para uno y otro proceden de fuentes diferentes y aunque los dos conjuntos de valores corresponden (aproximadamente) a la década anterior a la guerra, se refieren a años distintos. Como los datos no se reunieron especialmente con vistas a esta comparación y como sólo se trata de valores estimados, deben considerarse únicamente como guía general de los costos comparativos.

Para situar la comparación sobre una base uniforme, todos los valores se expresan en términos de una tonelada de P_2O_5 proporcionado en la forma de superfosfato doble. A partir de los datos procedentes de dos fuentes principales hemos encontrado que, durante la década anterior a la guerra, todos los costos, excepto el del ácido sulfúrico (en el proceso químico) y la energía eléctrica (en el proceso electrotérmico), por tonelada de P_2O_5 en forma de superfosfato doble producido en Florida hubieran sido aproximadamente iguales —más o menos Dls. 30 por tonelada.¹²

El factor decisivo para elegir entre el método electrotérmico y el químico sería, por lo tanto, los costos comparativos del ácido sulfúrico y de la energía eléctrica. El primero de estos procesos requiere 2.3 toneladas de ácido de 50° Baumé (cerca de 62,2 %), el segundo 4,670 KWH de energía eléctrica, ambos por tonelada de P_2O_5 en forma de superfosfato doble, y tanto para uno como para otro resultarían costos de producción aproximadamente iguales dados los siguientes costos del ácido sulfúrico y de la energía eléctrica:

Si el precio del ácido sulfúrico (50° Be.) es (en dólares por tonelada)	El precio de la electricidad que igualará los costos de producción es: milésimos por KWH)
\$ 6.50	3.2
7.00	3.4
7.50	3.7
8.00	4.0
8.50	4.2
9.50	4.7
10.00	4.9

La estimación más razonable de que pudimos disponer, el precio 1946 del ácido sulfúrico de 50° en Florida oscila entre Dls. 7.00 y Dls. 8.00 por tonelada. Sobre esta base, el precio de la energía atómica habría de os-

¹² Las principales fuentes de información sobre el costo son: H. A. Curtis, A. M. Miller, y J. N. Junkins, "TVA Estimates Favorable Costs for Concentrated Superphosphate", *Chemical and Metallurgical Engineering*, vol. 43, noviembre y diciembre 1936; y *Columbia River and Minor Tributaries*, *op. cit.*, pp. 170-173. Los valores reales son Dls. 28 por tonelada en el proceso químico y Dls. 30 por tonelada en el electrotérmico.

cilar entre 3.5 y 4.0 milésimos de dólar por KWH para que los costos de producción del método electrotérmico igualasen los costos del proceso químico.¹³ Para una industria que funcione con un elevado factor de carga (por ejemplo, de 90 %), esos precios de la energía atómica podrían, de acuerdo con los cálculos del capítulo I, alcanzarse.

Los cálculos del párrafo precedente sólo son, claro está, aproximados y no nos permiten predecir si la energía atómica será importante para el desarrollo de la producción en Florida de abono fosfatado (o de fósforo elemental). Sin embargo, parecen indicar que, para precios del ácido sulfúrico comprendidos en el margen indicado, la electricidad atómica podría ser lo bastante barata para aproximar tanto los costos comparativos de producción de los dos métodos, que la elección entre uno y otro se convertiría en cuestión baladí a resolver por otros factores.

En estas circunstancias, un factor que podría manifestarse como decisivo es que el costo de transportar el producto al mercado fuera más barato por unidad de P_2O_5 en el caso del método electrotérmico. Conforme hicimos notar anteriormente, con este último se produce fósforo elemental, lo que no ocurre en el caso del proceso basado en el ácido sulfúrico. Por consiguiente, el primero de estos procesos ofrece la oportunidad de enviar el fósforo elemental a una región próxima al mercado para su conversión en superfosfato doble, mientras que en el proceso químico el superfosfato doble sería la forma más económica en que se podría transportar el material. El cuadro 13 indica que si se usase el fósforo elemental la economía por tonelada de superfosfato doble podría ser de cerca de Dls. 2.10 para una distancia de 500 millas por vía férrea. Esto equivale a unos Dls. 4.20 por tonelada de P_2O_5 en forma de superfosfato doble.¹⁴

Estos cálculos indican que la energía atómica no jugaría un papel decisivo en la producción de abono superfosfatado más barato. Si suponemos energía atómica a 3.5 milésimos de dólar y ácido sulfúrico a Dls. 7.50, las economías por tonelada de P_2O_5 en un mercado situado a 500 millas por ferrocarril sería de Dls. 4.20 aproximadamente sobre un costo total de cerca de Dls. 50,000 y estas economías aumentarían proporcionalmente con la distancia. Pero los costos de producción son una fracción tan sólo del precio del abono fosfatado para las plantas que pague el agricultor,

¹³ Se emplea el precio del ácido correspondiente a 1946 para poder comparar con los costos de la energía atómica estimados para este año. El precio se basa en los datos contenidos en *Census of Manufactures, 1947*, Oficina del Censo de los E. U., Washington, Gov. Printing Of. 1949, sección relativa a "Industrial Inorganic Chemicals".

¹⁴ Nótese que esto supone que la producción final de superfosfato doble a base de fósforo elemental se realiza en otro punto. Si los costos de conversión en ese lugar son sustancialmente mayores que en la Florida, podría resultar conveniente aprovechar la ventaja de las economías de transporte.

precio que gira en torno a los Dls. 125 por tonelada de contenido de P_2O_5 .¹⁵ Por consiguiente, en términos de precios al por menor, la energía atómica en Florida, de ser ciertas nuestras cifras, sólo acarrearía reducciones de 3 % o poco más, según las distancias.

No deberíamos pararnos en considerar la importancia de estas reducciones del costo dado el amplio elemento de incertidumbre que afecta a los valores en que se basan. Pero refuerzan la opinión de que el método eléctrico no alcanzaría importancia en la Florida a menos que se pudiera disponer de energía atómica a un costo del orden de 3.5 milésimos de dólar por KWH o menos. Hay que recordar que el costo de la electricidad generada con combustibles comunes es en la Florida relativamente alto. El mapa 1 del capítulo II indica para este caso costos de la electricidad de aproximadamente 6 milésimos de dólar por KWH con un factor de utilización de la capacidad de 50 %, por lo cual sería posible cobrar tarifas de 4.25 a 4.50 milésimos de dólar por KWH a una industria con elevado factor de carga. A este nivel de costos de la electricidad, el horno eléctrico podría competir en la producción de abonos superfosfáticos únicamente si el precio del ácido sulfúrico oscilase entre Dls. 8.50 y Dls. 9.00 por tonelada de ácido de 50°. Esto podría significar que, o bien la producción en la Florida se basaría en el método del ácido sulfúrico en vez de en el horno eléctrico o que Florida mandaría fuera su roca de fosfato para ser fundida eléctricamente en regiones con más bajo costo de la electricidad.

Concluimos, por lo tanto, que aunque la energía atómica probablemente no conducirá a reducciones importantes en el precio del superfosfato doble como abono, podría resultar de interés por lo que respecta a estimular el uso del método eléctrico en vez del ácido sulfúrico. En la próxima sección, consideraremos si dicha energía ayudará a la Florida a conservar las fábricas en que se realiza la fundición eléctrica, fábricas que, en otro caso, pudieran ser trasladadas a lugares en que se cuenta con energía barata.

2. Costos comparativos entre fundición de roca de la Florida en esta región y en otro lugar

Cabe preguntarse si la electricidad barata situada en otro punto cualquiera puede atraer hacia sí la fundición eléctrica del fósforo desviándola de la Florida, incluso teniendo en cuenta el costo extra de expedir siete toneladas de roca de fosfato por tonelada de fósforo elemental. Entre otras regiones, es posible que se pueda disponer en el futuro de energía

¹⁵ Basado en los precios de la OPA para ventas al por menor en algunas ciudades conforme se resume en un manuscrito inédito de la Bonneville Power Administration.

hidroeléctrica barata en el Valle del Tennessee y en el Pacífico Noroeste. No consideraremos en el presente análisis esta última región en vista de la opinión antes citada, según la cual el fósforo producido en ella a base de roca de fosfato local no podría competir probablemente con la producción de la Florida en grandes sectores de Estados Unidos.¹⁶ Evidentemente, una producción sobrecargada por los costos adicionales de transportar la roca a gran distancia se encontraría en condiciones de competencia todavía más difíciles. Por lo tanto nos atendremos a la región relativamente cercana del Valle del Tennessee.

Quizá la mejor manera de abordar esta cuestión sea partir de algunos cálculos puramente hipotéticos. La producción de una tonelada de fósforo elemental requiere unos 13,000 KWH. Por consiguiente, una diferencia de un milésimo de dólar por KWH en el costo de la misma se traduce en una diferencia de Dls. 13.00 en el costo de producción de una tonelada de fósforo elemental. Esta requiere también siete toneladas de roca de fosfato, y el costo de transporte de esta roca a distancias de 500 millas o más es de unos ocho milésimos de dólar por tonelada-milla. En consecuencia, una diferencia en el costo de la energía de un milésimo por KWH quedaría compensada por el transporte adicional de la roca de fosfato a unas 225 millas.

La electricidad a bajo costo del Valle del Tennessee puede encontrarse a una distancia de cerca de 750 millas de los yacimientos de roca de fosfato de Florida. El costo de transporte de siete toneladas de dicha roca a aquella región equivale, por lo tanto, a unos 3.2 milésimos de dólar por KWH consumido por tonelada de fósforo elemental. Esto significa que un centro de producción situado en el Valle del Tennessee debe poder contar con electricidad a menos de 0.3 milésimos de dólar por KWH para atraer la fundición eléctrica a expensas de la Florida si, por ejemplo, rigieran en ésta tarifas atómicas comprendidas entre 3.25 y 3.5 milésimos por KWH. Análogamente, si las tarifas de electricidad en Florida oscilan entre 4.25 y 4.5 milésimos de dólar por KWH (estimación mínima sobre la base de combustibles ordinarios), las tarifas correspondientes en la región del Valle del Tennessee debieran ser inferiores a 1.3 milésimos por KWH para atraer hacia ella la fundición eléctrica. Ahora bien, las tarifas necesarias para que resultara económico llevar la roca de la Florida al Valle del Tennessee para su fundición eléctrica se encuentran muy por debajo de los precios de la energía posibles en esta región, tanto si la Florida usase electricidad atómica a 3.25 3.50 milésimos de dólar por KWH como si empleara electricidad ordinaria a 4.25 4.50 milésimos por KWH. Una tarifa razonable en el Valle del Tennessee, es, quizá, de tres milésimos por KWH,¹⁷ y sobre esta base la producción en Florida

sería más barata, incluso usando electricidad a seis milésimos por KWH, o menos.

Nuestra conclusión provisional puede formularse de la siguiente manera: si con electricidad generada en la Florida con combustibles comunes, la fundición eléctrica del fósforo con vistas a la producción de abono fosfatado resulta más económica que el procedimiento del ácido sulfúrico, será también, probablemente lo bastante barata para evitar que otras regiones que cuentan con electricidad a costo más bajo se llevasen la roca de Florida para fundirla eléctricamente. En este caso, la electricidad atómica carecería de importancia como posible medio de llevar a la Florida fábricas para el tratamiento que, de no ser así, emigrarían a otra parte.

C) CONCLUSIONES GENERALES

Al aplicar a otros países los resultados del análisis que hemos efectuado en relación con Norteamérica, es importante saber en qué condiciones se encuentra la roca de fosfato. Por ejemplo, ¿posee un país, a la vez energía hidroeléctrica a bajo costo y roca de fosfato dentro de una misma región, como ocurre en Estados Unidos, en el Tennessee y en algunos de sus estados más orientales? Donde se dé esta combinación, la electricidad atómica carecerá probablemente de importancia para la industria del abono fosfatado. Por otra parte, ¿cuenta el país en cuestión con importantes reservas de roca de fosfato en regiones desprovistas de electricidad a bajo costo, como sucede en el caso de Florida? Precisamente, en estas condiciones podría tener importancia el uso de la energía atómica.

Los enormes depósitos del Norte de África existentes en Túnez y Argelia se parecen de modo sorprendente a los de la Florida. Para esta región, como para Florida, se plantea el problema de si el costo del abono fosfatado sería más bajo utilizando hornos eléctricos alimentados con energía atómica que mediante el proceso químico. La casi igualdad de los costos estimados para los dos procesos en Estados Unidos sugiere que también en Noráfrica es poco probable que se obtengan importantes ventajas del uso de la energía atómica, especialmente dada la proximidad de grandes depósitos de azufre en Italia y de piritas en España. Sin embargo, es posible que se prefiera el método eléctrico debido a las economías de transporte.

Pero esto es solamente un ejemplo. Importantes cantidades de roca de fosfato se producen y consumen en muchos países del globo. En la mayor parte de los casos, el procedimiento a base de ácido sulfúrico limitará probablemente, por su relativa simplicidad, la importancia de las operaciones electrotérmicas basadas en la energía atómica, sobre todo en vista de la disponibilidad general de azufre y piritas y la facilidad relativa

¹⁶ Véase más arriba, capítulo VI, B.

¹⁷ Basado en "Aluminum Plants and Facilities", *op. cit.*, apéndice 8, pp. 82-83.

con que se pueden transportar. Debe establecerse, sin embargo, una importante excepción. Una ventaja del proceso electrotérmico en casos especiales consiste en que permite utilizar roca de fosfato de ley no adecuada para el proceso químico.¹⁸ Puede juzgarse la posible importancia de esta ventaja considerando el hecho, comprobado en Rusia, de que los costos de producción de abonos concentrados a partir de fosforitas de baja ley mediante el método eléctrico son considerablemente más bajos que los que corresponden a otros procesos.¹⁹ Con materias primas de esta clase, la energía atómica podría ofrecer importantes ventajas, bien fuera mediante posibles reducciones del costo de la energía, o bien, si la producción se encuentra ya orientada hacia la energía barata alejada de la roca de fosfato, mediante una posible reducción en el costo de transporte de las materias primas a los centros de tratamiento.

¹⁸ *Columbia River and Minor Tributaries, op. cit.*, p. 169.

¹⁹ *Electric Power Development in the U.S.S.R., op. cit.*, p. 363.

VII. CEMENTO

Dos son las razones principales por las que consideramos aquí la posibilidad de que la energía atómica sea de utilidad para la industria del cemento. En primer lugar, los costos de combustible y energía tienen importancia dentro del costo total de producción del cemento, de suerte que posibles reducciones en estos costos mediante el uso de energía atómica pueden tener gran importancia para esta industria. En segundo lugar, la cantidad total de combustible consumida en la fabricación de cemento es considerable. En consecuencia, la disponibilidad de la nueva fuente de energía puede interesar a países pobres en recursos de combustible que proyecten programas de modernización e industrialización que requieran mucho cemento.

En este capítulo consideraremos si existe una posibilidad razonable de que la energía atómica pueda utilizarse en la producción de cemento. Indicaremos tan sólo brevemente los problemas técnicos que entran en juego, subrayando, sobre todo, si el uso de la energía atómica estaría justificado dado su costo en comparación con el costo de los combustibles ordinarios.

El capítulo se inicia con una sección dedicada a los métodos de producción del cemento, incluyendo cuestiones relativas a las necesidades de materia prima y a la localización de la fábrica. Sigue luego un análisis de los costos comparativos de proporcionar calor y energía a base de carbón y a base de energía atómica. En la última sección se presentan algunas conclusiones generales.

A) PROCEDIMIENTO DE PRODUCCIÓN Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FÁBRICAS

El cemento se produce de ordinario calentando a temperaturas extremadamente elevadas una mezcla de piedra caliza y arcilla en proporciones adecuadas. Es necesario disponer de energía en el horno para sostener temperaturas comprendidas entre 2.400° y 2.800° Fahrenheit. Es ésta, con mucho, la mayor parte de la energía utilizada en la producción de cemento y en la actualidad se obtiene mediante combustión del carbón. La electricidad se usa para pulverizar las materias primas antes de introducirlas en el horno y para moler las pequeñas masas resultantes, llamadas "clinkers", para convertirlas en cemento.

Para producir un barril de cemento de 376 libras de peso, se necesitan cerca de 600 libras de piedra caliza y de arcilla. El anhídrido carbónico desprendido por las materias primas durante el proceso de calentamiento es la causa de la diferencia de peso entre el material introducido

en el horno y el producto final. El combustible requerido para el proceso varía ampliamente y depende sobre todo de la eficiencia del horno. Un valor representativo en la anteguerra era del orden de 120 libras de carbón por barril de cemento, si bien en hornos con un rendimiento térmico más elevado se requería considerablemente menos.¹ Cálculos aceptables predicen, en efecto, que el consumo de carbón en fábricas modernas eficientes podría pronto descender hasta cerca de 60 libras por barril. Se ha dicho que algunas de las plantas hoy existentes no consumen ya en sus hornos mucho más de 60 libras de carbón por barril.² La energía eléctrica necesaria para producir cemento, principalmente en la molienda, asciende en promedio a 20 KWH por barril. El equivalente en carbón del combustible y la energía que se requieren en una fábrica moderna sobre la base de una libra de carbón por KWH puede disminuir hasta 80 libras por barril de cemento.

Como aparte del combustible, las materias primas necesarias para producir cemento, se pueden encontrar casi en todas partes, los centros de producción están situados en todas las regiones que utilizan grandes cantidades de cemento. Sentado que las economías de producción favorecen la localización de las fábricas cerca de los principales mercados, las fábricas de cemento tienen costos de la energía muy diferentes según sea el nivel de costo del combustible en cada región.

B) COSTOS COMPARATIVOS DEL COMBUSTIBLE Y LA ENERGÍA, EMPLEANDO CARBÓN O ENERGÍA ATÓMICA

1. Importancia de los costos de combustible y energía

Aunque por lo general el combustible y la energía no son lo bastante importantes para determinar la localización de las fábricas de cemento, su costo es una partida considerable en la fabricación de éste. El cuadro 14 indica el porcentaje de los costos totales de producción que debe atribuirse al combustible y a la energía en función de los precios variables del carbón. Merece notarse que, incluso cuando el precio del carbón es tan bajo como Dls. 2.00 por tonelada, el combustible y la energía pueden llegar a representar el 15 % del costo total de producción, mientras que cuando el carbón cuesta entre Dls. 6.00 y Dls. 8.00 por tonelada ese porcentaje puede llegar a 25 o 30 %.

¹ N. Yaworski, V. Spencer, y otros, *Fuel efficiency in Cement Manufacture*, W. P. A. National Research Project, Informe n° E-5, Filadelfia, 1938, p. 32.

² *Ibid.*, p. 62. Cf. también el pequeño consumo de carbón (unas 65 libras) en una nueva fábrica en Suecia, país pobre en recursos carboníferos, en "Sweden's Modern Cement Plant", por Bror Nordberg, *Rock Products*, vol. 49, enero 1946, p. 78.

2. Costos comparativos: el carbón y la energía atómica

Dos son las maneras generales mediante las que se podría aplicar la energía atómica a la fabricación del cemento. Una de ellas sería utilizar la electricidad atómica, no sólo para aquellas operaciones que hoy requieren energía eléctrica, sino también para calentar el horno. El segundo método consistiría en usar electricidad atómica solamente para aquellas operaciones en las que hoy se emplea electricidad y utilizar en el horno gases calientes procedentes del reactor nuclear como sustituto de los combustibles ordinarios.

CUADRO 14. Combustible y energía como porcentaje del costo total de producción de cemento a precios variables del carbón^a

Precio del carbón (Dls. por tonelada corta)	Costos del combustible y la energía como porcentaje del costo total ^b
\$ 2.00	15.1
4.00	20.4
6.00	25.7
8.00	29.8
10.00	33.9

^a Salvo el combustible y la energía los costos se basan en datos de 1929 tomados del *Report on Cement*, de la Comisión de Aranceles de los E. U., n° 38, 2ª serie, Washington, Gov. Printing Of., 1932. Cualquier cambio en estos costos desde aquel entonces afectará, evidentemente, a los porcentajes indicados y, en consecuencia, los datos deben tomarse como índice del orden de magnitud de los costos del combustible y la energía más bien que como índice de su importancia relativa exacta. Los costos representan promedios para fábricas que produjeron cerca del 40 % del total de cemento fabricado en Estados Unidos en 1929. Hay indicaciones de que las fábricas no incluidas en este ejemplo presentan costos de producción similares.

^b Basados en un consumo supuesto de 60 libras de carbón para combustión en el horno y 20 KWH de energía eléctrica. El costo de ésta se ha estimado sobre la base del costo del carbón teniendo en cuenta los factores especificados en el capítulo II, A.I.a., en la hipótesis de que la central eléctrica trabaja al 50 % de su capacidad. Además, el cálculo supone que no se produce electricidad con el calor residual procedente de los hornos.

a) USO DE LA ELECTRICIDAD ATÓMICA PARA TODAS LAS OPERACIONES. Sería menester modificar la técnica de fabricación del cemento para que la electricidad atómica pudiese reemplazar en el horno a los combustibles comunes. Los únicos cementos que hasta el presente se fabrican electrotérmicamente sobre una base comercial son ciertos cementos especiales que contienen aluminio, producidos en Francia y Suiza en hornos eléctricos fijos. El cemento ordinario no se produce en esta clase de hornos, sino en hornos rotatorios. Son grandes las dificultades técnicas que presenta la adaptación del calentamiento eléctrico a las condiciones de funcionamiento muy diferente del horno rotatorio. Es imposible saber si esta adaptación es factible y, en el supuesto de que lo sea, a qué costo,

por lo menos hasta que no haya comenzado a funcionar una planta piloto. Supondremos, sin embargo, que los problemas técnicos pueden resolverse y compararemos el costo de la energía requerida por el nuevo método con el del método ordinario.

CUADRO 15. El combustible y la energía en la fabricación de cemento: comparación de los costos basados en el carbón con los costos basados en la electricidad

<i>Si el costo del carbón por tonelada es de:</i>	<i>El combustible y la energía por barril costará (en centavos de dólar):</i>	<i>El horno electrotérmico igualará el costo de la col. (2) para el siguiente costo de la electricidad^b (en milésimos por KWH)</i>
(1)	(2)	(3)
Dls. 2.00	16	0.97
4.00	23	1.4
6.00	31	1.9
8.00	38	2.3
10.00	46	2.8
12.00	53	3.2
14.00	61	3.7
16.00	68	4.1
18.00	76	4.6
20.00	83	5.0

^a Basado en un consumo supuesto de 60 libras de carbón para combustión en el horno y 20 KWH de energía eléctrica. Se ha estimado el costo de ésta sobre la base del costo del carbón teniendo en cuenta los factores especificados en el capítulo II, A.l.a., en la hipótesis de que la central eléctrica funciona a un 50 % de su capacidad. Además, el cálculo supone que no se produce electricidad con el calor residual procedente de los hornos.

^b Deducido de los datos indicados en "Electric Heating Systems in Furnaces for Ceramic Firing", por P. Gatzke, *Ceramic Industry*, vol. 27, octubre 1936, p. 269. Según estas cifras, se necesitarían aproximadamente 145 KWH de electricidad por barril de cemento para calentar el horno. A esta cantidad se han sumado 20 KWH para aquellas operaciones hoy electrificadas. La electricidad consumida en el horno tiene un valor en BTU inferior al de 60 libras de carbón. Esto se explica porque el método eléctrico permite un control más perfecto del calentamiento.

Esta comparación se efectúa en el cuadro 15 que indica a qué costo se debiera poder disponer de la electricidad atómica en la fabricación de cemento para igualar los costos de combustible y energía a distintos precios del carbón. Se supone que se requieren 60 libras de carbón y 20 KWH de electricidad con el método ordinario, cantidades a comparar con el equivalente de un total de 165 KWH de electricidad requeridos en el método electrotérmico. La cantidad de carbón indicada presupone un rendimiento térmico muy elevado del horno. Se ha hecho así con vistas a la comparación que perseguimos, porque el método electrotérmico sería factible (de serlo) sólo en aquellos puntos en los que el car-

bón es muy caro y donde, por consiguiente, se emplearían probablemente métodos eficientes de combustión. La cantidad necesaria de electricidad en el método electrotérmico ha sido estimada sobre la base de las cantidades consumidas en condiciones semejantes en la cocción electrotérmica de cerámicas. Debe quedar bien entendido que la comparación se efectúa solamente entre los costos de la energía. A falta de información relativa a los otros costos (incluyendo las cargas fijas) los suponemos, en efecto, iguales en ambos métodos.

Las comparaciones que se encuentran en el cuadro 15, limitadas como están a los costos de la energía, indican claramente que la electricidad atómica no favorecerá el desarrollo de los métodos electrotérmicos para la fabricación del cemento a menos que no resulte ser inesperadamente barata a la vez que el carbón llega a ser desusadamente caro. Antes de la segunda guerra mundial, eran muy pocas las regiones pobladas en las que el precio del carbón excedía de Dls. 10 por tonelada; y, sin embargo, el método electrotérmico no podría competir ni aún con el carbón a Dls. 10, a menos que la energía disponible costara 2.8 milésimos de dólar por KWH, o menos. De acuerdo con nuestros cálculos, es muy improbable, aunque no imposible, que la electricidad atómica pueda proporcionarse a este precio.

Únicamente si los costos normales del carbón en la postguerra oscilan en algunas regiones entre 12 y 20 Dls. por tonelada, existirá una posibilidad aceptable de que la electricidad atómica pueda ser utilizada en esta industria. En muy pocas regiones sucederá esto y sus necesidades de cemento pueden no ser lo bastante grandes para justificar la investigación necesaria para el desarrollo de los hornos electrotérmicos de cemento. Incluso en este caso, el uso de la electricidad atómica resultaría económico sólo si las fábricas de cemento trabajasen entre el 75 y el 100 % de su capacidad; por razones que se expondrán más adelante, no es en modo alguno seguro que se pueda mantener un nivel tan constante de funcionamiento en las fábricas de cemento.

b) LOS REACTORES NUCLEARES COMO FUENTE DE CALOR DIRECTO Y DE ELECTRICIDAD. Por las razones discutidas en el capítulo I, es claro que constituiría un difícil problema de ingeniería hacer funcionar los reactores nucleares a temperaturas suficientemente altas para proporcionar calor a las fábricas de cemento. También plantearía serios problemas encontrar materiales adecuados para los conductos que lleven al horno de cemento el intenso calor.

Como en el caso del horno termoelectrico de cemento, supondremos que se pueden resolver los problemas de ingeniería que entraña el uso del calor nuclear en los hornos de cemento. Hemos de recalcar que estos problemas parecen mucho más difíciles que los vinculados al desarrollo

de los hornos eléctricos. En el resto de esta sección compararemos el costo de la energía con este método, y el costo del método basado en los combustibles ordinarios, para determinar la posible importancia económica de la energía atómica aplicada en esta forma a la industria del cemento.

CUADRO 16. El combustible y la energía en la fabricación de cemento: comparación de los costos basados en el reactor nuclear como fuente de calor directo y de electricidad con los costos basados en el carbón (todos los costos atómicos se expresan en términos del costo equivalente de electricidad con un factor de planta de 50 %)

Si el costo del carbón por tonelada es:	El combustible y la energía por barril costará (en centavos de dólar): ^a	El costo del calor directo y la energía procedentes del reactor nuclear igualará el costo de la col. (2) si la electricidad atómica se puede producir a los siguientes costos con un factor de planta de 50 % (en milésimos por KWH) ^b		
		Hipótesis 1 ^a : Tanto las instalaciones para la producción de calor como las destinadas a la producción de electricidad funcionan al 50 % de su capacidad	Hipótesis 2 ^a : Las instalaciones para la producción de calor funcionan al 100 % de su capacidad; las instalaciones para la producción eléctrica, al 50 % de su capacidad	Hipótesis 3 ^a : Tanto las instalaciones para la producción de calor como las destinadas a la producción de electricidad funcionan al 100 % de su capacidad
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
\$ 2.00	16	3.6	3.7	4.2
4.00	23	4.3	4.8	5.6
6.00	31	5.1	6.2	7.2
8.00	38	5.8	7.3	8.6
10.00	46	6.6	8.7	10.2
12.00	53	7.3	9.8	11.6
14.00	61	8.1	11.2	13.2

^a Basado en un consumo supuesto de 60 libras de carbón para combustión en el horno y 20 KWH de energía eléctrica. Se ha estimado el costo de ésta sobre la base del costo del carbón teniendo en cuenta los factores especificados en el capítulo II, A.I.a., en la hipótesis de que las instalaciones de la producción eléctrica funcionan al 50 % de su capacidad. Además, el cálculo supone que no se produce electricidad con el calor residual procedente de los hornos.

^b Basado en un consumo supuesto de 800.000 BTU de calor directo y 20 KWH de electricidad. Hemos supuesto que la cantidad de BTU necesarias es aproximadamente la misma que en el caso de hornos basados en la combustión del carbón. Esto implica el mismo rendimiento térmico que en este último caso, lo cual puede ser inexacto; consideramos que este último hecho carece en cierto modo de importancia dada la tosquedad de estas comparaciones en todos los aspectos. Nuestro cálculo supone que no se produce electricidad con los gases calientes que salen del horno y se basan en una relación fija entre el costo por BTU de energía por horno generada en el reactor y el costo por KWH de electricidad en cada uno de los tres casos supuestos.

El cuadro 16 resume los costos comparativos que para la fabricación del cemento tiene la energía obtenida a partir del carbón y a partir de reactores nucleares que proporcionen a la vez calor directo y electricidad. Los valores correspondientes a los costos atómicos se expresan todos en términos del costo equivalente de electricidad atómica con un factor de planta de 50 %, pero se basan en cálculos separados del costo del proceso de calor y de la electricidad procedentes del reactor nuclear bajo cada una de las tres hipótesis siguientes:

1. Que tanto las instalaciones para la producción de calor como las dedicadas a la producción de electricidad funcionan en promedio al 50 % de su capacidad;
2. Que las instalaciones para la producción de calor funcionan al 100 % de su capacidad, y al 50 % las instalaciones para la producción de electricidad;
3. Que tanto las instalaciones para la producción de calor como las destinadas a la producción de electricidad funcionan al 100 % de su capacidad.

Es difícil decir cuál de estas hipótesis se acerca más a la realidad en lo que concierne al porcentaje de capacidad a que se efectuará normalmente la producción. La hipótesis según la cual ambas instalaciones trabajarán sólo al 50 % de su capacidad está basada en la existencia, por lo general, de notables variaciones estacionales en la producción de cemento. Esto se debe, claro está, a que la construcción al aire libre está de ordinario fuertemente influida por factores estacionales. Los materiales resultan a veces afectados por condiciones climatológicas adversas y ciertos tipos de actividad, por ejemplo, la construcción de caminos o carreteras, son casi imposibles con mal tiempo. Por otra parte, el progreso técnico ha superado muchas de esas dificultades, y las prácticas que imponen una marcha ajustada a las estaciones también van cambiando poco a poco.³ La disminución de esta fluctuación estacional de la construcción, combinada con intentos de regularizar la producción de cemento mediante la acumulación de reservas, puede traducirse en algunos casos en un aprovechamiento del 100 % de la capacidad. Cabe hacer notar que en 1942 la totalidad de la industria norteamericana del cemento Portland funcionaba a cerca del 75 % de su capacidad.⁴ Esta posibilidad proporciona la base para las hipótesis 2 y 3. Una y otra difieren entre sí tan sólo en que la hipótesis 2 toma en cuenta la posibilidad adicional de que la carga de electricidad puede ser irregular incluso trabajando a plena capacidad.

³ Véase Simon Kuznets, *Seasonal Variations in Industry and Trade*, Nueva York, National Bureau of Economic Research, 1933, pp. 149-151.

⁴ *Minerals Yearbook, 1945*, Departamento del Interior de los E. U., Oficina de Minas, Washington, Gov. Printing Of., 1947, p. 1232.

Las comparaciones que aparecen en el cuadro 16 indican que desde el punto de vista del costo de la energía, el reactor nuclear utilizado para proporcionar a la vez calor y electricidad puede competir incluso con el carbón de costo relativamente bajo. Supuesta la validez de las hipótesis 2 ó 3, el reactor nuclear pudiera competir con el carbón aunque el precio de éste bajase a Dls. 4.00 por tonelada, con tal que los costos atómicos se encuentren entre los valores estimados mínimo e intermedio del capítulo I. Existe, naturalmente, una más fuerte posibilidad de competencia en el campo de los costos con carbón a Dls. 4.00 cuando rige la hipótesis 3, que en el supuesto de la hipótesis 2; en este último caso, sería necesario que los costos de la energía atómica se encontrasen casi dentro del margen mínimo para igualar los costos asociados con el carbón a Dls. 4.00 por tonelada. De ser cierta la hipótesis 1, la energía atómica podría competir con carbón al precio de unos Dls. 6.00 por tonelada. Durante el período de anteguerra, cuando el valor promedio del carbón f.o.b. minas en Estados Unidos era de cerca de Dls. 2.00 por tonelada, había muchas regiones en las que los costos se aproximaban a Dls. 4.00 por tonelada y en algunas el costo para grandes consumidores de carbón ascendía hasta Dls. 7.00 por tonelada. Por consiguiente, los reactores nucleares podrían en muchas regiones ser una fuente de energía más barata que el carbón, incluso a los precios del carbón correspondientes a la anteguerra. Con costos del carbón, en 1946, comprendidos entre Dls. 4.00 y Dls. 5.00 por tonelada en muchas regiones importantes productoras de ese combustible, la producción de cemento en la mayor parte de Estados Unidos podría ser más barata utilizando el reactor nuclear como fuente de energía.

Claro está que todo esto es niera conjetura. Ya hemos insistido en que habría que vencer formidables dificultades técnicas para poder usar el reactor nuclear en la forma supuesta. Con todo, los cálculos parecen indicar que una solución de estos problemas ofrece mayores promesas para la industria del cemento que un intento de adoptar los métodos electrotérmicos basados en la electricidad atómica. Volveremos a estas consideraciones en la última sección de este capítulo.

Debemos hacer notar todavía un último problema. A causa de las pérdidas de calor en su paso del reactor nuclear al horno de cemento, sería necesario —incluso si todos los demás problemas técnicos se resolvieran satisfactoriamente— situar el horno cerca del reactor. Esto podría significar que la fábrica de cemento necesitaría su propio reactor nuclear, con lo cual surge la cuestión de si la fábrica sería suficientemente grande para exigir aparatos nucleares de un tamaño económico mínimo por ahora indeterminado.

En conexión con esto, es útil la siguiente relación: sería necesario un reactor nuclear de 6.000 a 7.000 kilovatios para proporcionar calor di-

recto y electricidad a una fábrica con una capacidad anual de 500,000 barriles de cemento. Por lo tanto, fábricas de capacidades distintas requerirían reactores nucleares de los siguientes tamaños:

<i>Capacidad anual (barriles de cemento)</i>	<i>Reactor nuclear⁶ (en kilovatios)</i>
500.000	6.000–7.000
1.000.000	12.000–14.000
1.500.000	18.000–21.000
2.000.000	24.000–35.000
5.000.000	60.000–70.000

Estas cifras pueden compararse con las correspondientes a la capacidad de las fábricas de cemento norteamericanas que se indica en la siguiente lista relativa al año 1945:⁶

<i>Capacidad anual (en barriles)</i>	<i>Nº de fábricas</i>
menos de 1.000.000	38
1.000.000–1.999.000	84
2.000.000–2.999.000	21
3.000.000–10.000.000	11
TOTAL:	154

No se puede disponer de información tocante al mínimo tamaño económico de los reactores nucleares, e incluso es difícil hacer un cálculo razonable. Los costos atómicos estimados mencionados ya en el cuadro 16 de nuestro estudio, se refieren probablemente a un reactor de dimensiones óptimas, dimensiones que suponemos corresponderían aproximadamente a 75,000 ó 100,000 kilovatios. Únicamente las mayores fábricas de cemento requerirían un reactor de este tamaño. A medida que disminuya el tamaño, aumentará probablemente el costo, aunque no podemos decir en qué cuantía. Por lo tanto, es menester reconocer la posibilidad de que las comparaciones del costo antes examinadas pueden resultar inaplicables a fábricas de cemento con una producción de menos de cinco millones de barriles, en particular al gran número de fábricas, con mucho la mayoría, cuyas capacidades anuales son inferiores a dos millones de barriles. Esto podría significar, o bien que los reactores nucleares no resultarían económicos para grandes sectores de la industria del cemento en Estados Unidos y otras partes del mundo, o bien que habría que encontrar otras aplicaciones al calor y a la energía del reactor en la vecin-

⁶ Estos cálculos suponen que cuando se está produciendo a plena capacidad, el horno de cemento funciona de manera continua, mientras que la carga de electricidad puede ser de el 50 o 100 % de la capacidad. El margen indicado explica esta última circunstancia.

⁶ *Minerals Yearbook, 1945, op. cit., p. 1233.*

dad de la fábrica de cemento. Una tercera posibilidad teórica, a saber, que las fábricas de cemento sean instaladas cerca de las centrales de energía atómica que proporcionen electricidad a una ciudad o región, no se considera por lo general, realizable, a causa de que ello exigiría a menudo un transporte adicional de piedra caliza y arcilla que aumentaría considerablemente los costos.

C) ALGUNAS CONCLUSIONES GENERALES

Hemos visto que la fabricación de cemento presenta dos características que hacen potencialmente importante la energía atómica: 1) el combustible y la energía constituyen una partida considerable de sus costos y 2) los centros de producción se encuentran casi invariablemente determinados por consideraciones de mercado. En consecuencia, los costos del combustible y la energía varían notablemente, de acuerdo con el precio del combustible, en las distintas regiones productoras. En cambio, los reactores nucleares, que se caracterizarán probablemente por costos de la energía relativamente uniformes en regiones diferentes, podrían ofrecer posibilidades de reducción del costo en la fabricación de cemento.

Se sugirieron dos posibles maneras de aplicar energía atómica en esta industria: bien en hornos electrotérmicos o mediante el uso de gases calientes procedentes del reactor nuclear. Ambas requieren la inversión de tiempo y dinero en investigación aplicada, ya que ni una ni otra aplicación es factible con los métodos hoy conocidos. De las dos, el calentamiento de gases a altas temperaturas en el reactor nuclear para su uso en el horno plantea probablemente los más difíciles problemas de ingeniería, pero si fuera técnicamente hacedera, presentaría también las mayores promesas de éxito comercial. Nuestras comparaciones del costo indican que el reactor nuclear como fuente de gas a temperatura elevada podría competir con carbón que costase entre Dls. 4.00 y Dls. 6.00 por tonelada corta. Esto significa que gran parte de las regiones del mundo en las que el precio del carbón es superior a esas cifras podrían beneficiarse con la aplicación de la energía atómica. Dado que el método electrotérmico probablemente no podría competir con carbón que cueste menos de Dls. 12.00 por tonelada, su utilización estaría notablemente restringida.

Aparte la posibilidad de reducciones del costo mediante el uso de la energía atómica, ésta podría facilitar en ciertas regiones la producción de cemento en cantidades mucho mayores que en otras circunstancias, ya que las fábricas de cemento son voraces consumidoras de combustible. Se ha estimado que en Estados Unidos y en 1927 año máximo de producción, de cemento en la anteguerra, se utilizaron aproximadamente 13.5 millones de toneladas de carbón o su equivalente para proporcionar el com-

bustible y la energía requeridos por esta industria.⁷ Es por lo tanto posible que países pobres en combustibles podrían tropezar con dificultades para pagar el carbón extranjero necesario para sostener un elevado nivel de producción de cemento. Por ejemplo, en 1947 el Brasil importó en total 1.7 millones de toneladas de carbón. Con una población en aquel año de 45 millones de habitantes, es claro que para satisfacer un nivel de consumo de cemento *per capita* semejante al de Estados Unidos se habrían requerido importaciones de carbón, exclusivamente para este fin, superiores a la importación total de carbón de aquel país en dicho año.

Como el combustible atómico se puede encontrar en todo el mundo con mayor facilidad que los combustibles ordinarios, la energía atómica puede estimular el aumento de la producción de cemento, tan esencial para los programas de modernización en gran escala, en países que padecen la desventaja de la escasez de carbón. Además, conforme hemos visto, la producción nacional basada en energía atómica podría no hallarse en situación desventajosa por lo que concierne a los costos comparativos si el calor directo procedente del reactor nuclear pudiera usarse en el horno de cemento.

⁷ Yaworski, Spencer, *et al.*, *op. cit.*, p. 16.

Las características de la fabricación de ladrillo que determinarán el papel de la energía atómica en esta industria se parecen en muchos aspectos a las del cemento. La producción se basa en una materia prima ampliamente distribuida: arcilla común en el caso del ladrillo corriente. El combustible es el otro ingrediente importante y dado que el total consumido pesa considerablemente menos que el ladrillo acabado, las fábricas están situadas generalmente más bien cerca de los mercados que del combustible.

El costo del combustible y la energía es una parte importante del costo total de la producción de ladrillo. En el conjunto de la industria norteamericana, el costo de uno y otra en 1939 se elevó a cerca del 20 % del valor en fábrica de los productos.¹ Debido a que las fábricas se encuentran ampliamente dispersas, en las proximidades de los mercados del ladrillo, los costos de la energía varían mucho para cada fabricante, según el nivel de costos del combustible en la región de que se trate. En estas circunstancias, una fuente de energía caracterizada por variaciones geográficas en el costo posee, para ciertas regiones, una importancia potencial.

La mayor parte de las necesidades de energía de esta industria se refiere al combustible utilizado en los hornos para cocer los ladrillos. El análisis realizado en el caso de la industria del cemento indica que, para ese tipo de necesidades de energía, la electricidad atómica sólo podría tener importancia allí donde el costo del combustible ordinario sea desusadamente elevado.² La energía atómica se podría utilizar probablemente en gran escala en esta industria —como en la del cemento— sólo si resultase posible usar en el horno de ladrillo gas a elevada temperatura procedente del reactor nuclear. Ante todo, claro está, tendrían que superarse los problemas técnicos ya mencionados en nuestro examen de la industria del cemento.

Sin embargo, una característica básica de la producción de ladrillos —que la diferencia de la del cemento— se opone a la utilización directa del gas a temperaturas altas procedentes del reactor nuclear. Mientras,

¹ *Census of Manufactures, 1939, op. cit.* Estos datos se refieren a la industria especificada en el Censo como "Ladrillo y Teja Estructural Hueca", que produce principalmente ladrillo.

² Esto se ve corroborado por P. Gatzke en "Electric Heating Systems in Furnaces for Ceramic Firing", *op. cit.*, p. 267. Dice el autor: "Por lo menos en el presente, el horno eléctrico seguirá siendo probablemente un método de laboratorio en lo que concierne a la industria de la cerámica no refinada. No puedo imaginar que esta industria pueda cocer eléctricamente de modo económico sus artículos, porque el valor de éstos por unidad de peso... es excesivamente bajo". Esta generalización se aplica claramente a la producción de ladrillo.

en la mayoría de los casos el cemento se fabrica en grandes establecimientos, los ladrillos se producen de ordinario en fábricas relativamente pequeñas. En consecuencia, las necesidades de energía de una fábrica ordinaria de ladrillos podrían satisfacerse por un reactor nuclear cuyas dimensiones serían muy inferiores al tamaño mínimo económico probable para su funcionamiento.³ Por ejemplo, la capacidad media anual de las fábricas de ladrillos en 1925 (un año relativamente bueno para esta industria) era de unos 10 millones de unidades.⁴ Las necesidades de energía de una fábrica de este tamaño podrían satisfacerse con un reactor nuclear de unos 1,000 kilovatios, dimensión ésta que es casi con certeza demasiado pequeña para una explotación económica. La mayor fábrica de ladrillos en aquel año poseía una capacidad anual de cerca de 140 millones de unidades, para lo cual sería suficiente un reactor nuclear de unos 14,000 kilovatios. Incluso la demanda de energía de la mayor de las fábricas pudiera estar muy por debajo del tamaño mínimo correspondiente a una explotación económica de los reactores nucleares.⁵

Parece probable, por lo tanto, que la energía atómica tendría importancia para la industria en cuestión únicamente si en la vecindad de una fábrica de ladrillos existiesen otras aplicaciones para el reactor nuclear. La producción de cemento ofrece una de estas posibilidades. Una fábrica de cemento de dimensiones moderadas podría requerir, de acuerdo con nuestros cálculos, un reactor nuclear de unos 20,000 kilovatios. Si se estableciese una fábrica de ladrillos en la cercanía, podría utilizar el calor y la energía procedentes del mismo reactor.

La combinación de la producción de cemento y ladrillo es interesante porque, en buena parte, ambas sirven el mismo mercado general. También las materias primas requeridas para los dos productos se pueden encontrar generalmente dentro de una pequeña área. Pero las posibilidades están limitadas por el hecho de que la fabricación de ladrillo se encuentra mucho más dispersa que la del cemento. En 1939, por ejemplo, había en los Estados Unidos 800 fábricas dedicadas a la producción de ladrillo y de teja hueca estructural mientras que las fábricas que producían cemento eran sólo 160.⁶ A menos que la economía de la producción de

³ En relación con esto es significativo que la mecanización de la producción de ladrillo ha resultado retardada por el hecho de que predomina la fabricación en pequeña escala, debido a que muchas máquinas sólo son eficientes en grandes fábricas. (M. E. West, *Brick and Tile*, W. P. A. National Research Project, Informe n° N-2, Filadelfia, 1939, p. 11).

⁴ *Ibid.*, p. 14.

⁵ Conforme indicó el examen de la industria del cemento, la cuestión del tamaño es importante para los reactores nucleares que proporcionan calor a elevada temperatura, porque no es factible la transmisión más allá de cortas distancias. Por consiguiente, las factorías que usen calor a alta temperatura procedente del reactor tendrán necesidad probablemente de poseer sus propios reactores.

⁶ *Census of Manufactures, 1939, op. cit.*

ladrillo se decidiese netamente a favor de unidades productoras de mayor escala por influencia de la energía atómica o de otros progresos técnicos, solamente una pequeña proporción de la industria total se beneficiaría de compartir el uso de la energía atómica con las fábricas de cemento.

Recíprocamente, no es probable que las fábricas de cemento que no requieren de suyo reactores nucleares de dimensión económica pasen a formar parte de aquella categoría al combinarse con fábricas dedicadas a la producción de ladrillo. Tan sólo fábricas muy grandes de esta clase podrían tener efecto importante sobre el tamaño del reactor nuclear requerido. Estas fábricas podrían encontrarse en las proximidades de centros de población extraordinariamente grandes, tales como Nueva York y Chicago, centros que constituyen probablemente mercados lo bastante vastos para que el cemento precise reactores nucleares superiores al tamaño mínimo económico.

IX. VIDRIO PLANO

Incluimos en nuestro análisis la fabricación de vidrio plano principalmente por dos razones.¹ En primer lugar, el costo de la energía es un elemento bastante importante del costo total de producción. La energía se requiere sobre todo en forma de combustible para calentar el horno de vidrio; merece la pena averiguar si la electricidad atómica sería una fuente de calor más barata para el horno que los combustibles comúnmente usados. En segundo lugar, el combustible que con mayor frecuencia se usa en los Estados Unidos para la fabricación de vidrio es el gas natural; el costo y disponibilidad de este combustible han influido, al parecer, de modo considerable en la localización de las fábricas de vidrio. ¿Tendería la energía atómica a motivar en la situación de las fábricas cambios que dieran lugar a una reducción de los costos de entrega del vidrio en los importantes mercados?

Comienza el capítulo con un breve estudio del proceso de producción, de las materias primas más importantes y de la selección de sitios para las fábricas. Sigue a esto un análisis de los posibles efectos económicos de la energía atómica sobre la fabricación del vidrio mediante su influencia en los costos del combustible y la energía y en el emplazamiento de los centros de producción. La última sección presenta algunas conclusiones generales.

A) LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA LOCALIZACIÓN DE LAS FÁBRICAS

Para el fin que perseguimos necesitamos tan sólo indicar unos cuantos rasgos esenciales de la fabricación del vidrio. Las materias primas más importantes, aparte el combustible, son la arena silíceá, el carbonato sódico (anhidro), la cal y el vidrio machacado (*cullet*). Se funden éstos en un horno a temperaturas que oscilan entre 2,500° y 3,000° F. El vidrio fundido pasa del horno a máquinas que mediante el cilindrado lo reducen al espesor que se desea. Las láminas se llevan entonces a un horno de templado (*lehr*) en el cual el vidrio es sometido a temperaturas cada vez más bajas, hasta que sale a la temperatura del aire exterior. Finalmente,

¹ En nuestra muy desarrollada economía industrial, la industria del vidrio fabrica gran variedad de productos. El *Census of Manufactures, 1939, op. cit.*, clasifica la producción de vidrio en tres grupos: "vidrio plano", "cristalería, prensada o sopladá" y "espejos y otros productos hechos con vidrio comprado". Este capítulo se limita al primero de estos grupos. Los productos principales de las fábricas de vidrio plano son vidrio para ventanas y cristales planos, muy usados ambos en la construcción de edificios. Además, estos últimos tienen importante mercado en la fabricación de automóviles.

se pulen las láminas (en el caso del vidrio plano) y se cortan al tamaño apropiado.

El gas, que se empezó a usar en la fabricación del vidrio a fines del siglo XIX, ha llegado a adquirir una importancia fundamental como consecuencia de las economías generales derivadas de su uso, resultantes de su limpieza, la facilidad con que se puede controlar la temperatura y la creación de hornos de alto rendimiento basados en el combustible gaseoso.²

El emplazamiento actual de las fábricas de vidrio plano se ha venido determinando principalmente por la ubicación del gas natural. Los importantes centros de producción del este de Pennsylvania, oeste de Virginia y Ohio, deben en buena parte su predominio al hecho de haberse descubierto gas natural en dichas regiones desde el primer momento. El que se haya descubierto posteriormente gas natural en el sudoeste de los Estados Unidos convirtió a esta área en otro importante centro de la industria del vidrio.³ El número de fábricas con que cuenta esta industria es muy pequeño, debido principalmente a la gran inversión que se requiere para la fabricación del vidrio plano, pero todas ellas se encuentran en las áreas productoras de gas o en sus cercanías. A mediados de la cuarta década del presente siglo, más del 75 % de la producción total de vidrio en láminas procedía de ocho factorías, y más del 95 % de la producción total de vidrio plano estaba concentrado en seis. Todas ellas se encontraban en la vecindad de yacimientos de gas natural.⁴

Aunque la importancia del gas natural por lo que toca a determinar dónde han de situarse las factorías de vidrio se apoya meramente en los hechos, existe un elemento paradójico en la atracción ejercida por este combustible. Es posible situar las factorías en las regiones productoras de gas porque las otras materias primas requeridas para la producción del vidrio están distribuidas con bastante amplitud. En consecuencia, se las puede encontrar generalmente cerca de dichas regiones. Pero, por la misma razón, se podría disponer también de tales materiales cerca de importantes mercados para el vidrio. Cabría esperar, por lo tanto, que la fabricación del vidrio se encontraría cerca del gas natural tan sólo porque cuesta más transportar la cantidad de gas necesaria para la producción del vidrio que transportar éste. Sin embargo, no parece ser éste el caso, conforme indican las siguientes cifras: una tonelada de vidrio acabado producida en una fábrica moderna requiere aproximadamente 23,000 pies cúbicos de gas para combustible y energía. Esta cantidad de gas se puede transportar a 100 millas, con un factor de carga típico, por unos

² Comisión de Aranceles de Estados Unidos, *Flat Glass and Related Glass Products*, informe n° 123, 2ª serie, Washington, Government Printing Office, 1937, p. 20.

³ *Ibid.*, p. 20.

⁴ *Ibid.*, pp. 41, 93.

Dls. 0.55 a Dls. 0.83, mientras el costo de transportar una tonelada de vidrio (más el peso del embalaje) a 100 millas resulta estar comprendido entre Dls. 1.60 y Dls. 2.20.⁵

Puesto que, al parecer, cuesta menos transportar el gas necesario para la fabricación del vidrio que transportar el vidrio plano acabado, ¿por qué no ha ejercido el mercado una influencia mayor sobre la ubicación de la fábrica? La explicación puede ser que el transporte del gas natural a larga distancia representa un progreso relativamente reciente; aun hoy, la red de tuberías para la conducción del gas no cubre todos los centros de población importantes.⁶ Esto ha acarreado una doble consecuencia. En primer lugar, los consumidores potenciales de gas se han visto limitados a aquellas regiones en las que éste se podía obtener. En segundo lugar, a causa de su incapacidad para trasladar fuera de las áreas de producción la totalidad del gas obtenido, los productores se han visto forzados en el pasado a venderlo en la localidad a precios extraordinariamente bajos. Así, los precios del gas en las áreas productoras han tendido a quedar considerablemente por debajo del vigente (una vez deducido el costo de transporte) en las regiones consumidoras distantes, en las que la demanda de gas natural excede con frecuencia el suministro y donde, por lo tanto, los precios del gas reflejan su valor para aquellos usos en los que es un combustible preferido, por ejemplo, usos domésticos. Por todo ello, las indicadas diferencias en el transporte pueden no representar verdaderamente la diferencia entre el precio del gas para los productores de vidrio que se encuentran en regiones que lo contienen y para aquellos otros que se hallan en regiones más distantes.

Si esta hipótesis es exacta, la reciente extensión de la red de gasoductos de bajo costo de transporte debiera haber debilitado la atracción de las regiones productoras de gas para la instalación de nuevas fábricas de vidrio. Una reciente declaración autorizada sobre la ubicación de tales fábricas tiende a sostener este punto de vista, sin que por ello se ausen los factores que entran en juego: "En el pasado, el combustible barato fué el factor decisivo en lo que concierne al emplazamiento de las factorías de vidrio, pero, hasta donde se puede juzgar por la construcción de nuevas fábricas en estos últimos años, la proximidad de mercados interesantes es ahora la consideración que más pesa en la elección de un

⁵ Los costos de transporte del gas los hemos obtenido de *Problems of Long-Distance Transportation of Natural Gas*, noviembre 1947, p. 55, estudio del gas natural hecho por la Comisión Federal de Energía. Los costos de transporte del vidrio se han estimado teniendo presentes los de *Flat Glass...*, *op. cit.*, pp. 71, 109. Comisión de Aranceles, y de datos publicados e inéditos de la Comisión Interestatal de Comercio.

⁶ *Problems of Long-Distance Transportation...*, Estudio del Gas Natural por la Comisión Federal de Energía, *op. cit.*, *passim*.

lugar determinado.”⁷ Debemos ser cautos, sin embargo, antes de proyectar hacia el futuro esta tendencia. El gas es un recurso que se agota, y parece ser que la demanda del mismo aumenta sin cesar; por ejemplo, se le considera como una posible materia prima para la fabricación de gasolina sintética.⁸ Puede llegar un momento en que las necesidades potenciales sobrepasen el suministro y, en estas circunstancias, el uso racional o el patriotismo local pueden imponer que se conceda la prioridad a las demandas procedentes de la propia región productora. Esta circunstancia (o incluso el mero hecho de tenerla en cuenta por anticipado) puede acentuar de nuevo la atracción ejercida por las regiones productoras de gas si la producción de vidrio continúa basándose principalmente en el gas natural.

B) POSIBLES EFECTOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA EN LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN Y EN LA LOCALIZACIÓN DE LA FÁBRICA

1. La importancia de los costos del combustible y la energía

La importancia relativa del combustible y la energía en el costo total de producción del vidrio plano se puede ver en el cuadro 17. El menor de los costos indicados, entre 5 y 10 centavos de dólar por cada 1,000 pies cúbicos, se ha encontrado en el pasado únicamente en las regiones productoras de gas a chorro. Con estas tarifas, los costos del combustible y la energía no constituyen una parte importante de los gastos totales de producción. Su importancia crece, claro está, a medida que aumentan los costos del combustible, y a Dls. 0.25 centavos por cada 1,000 pies cúbicos —precio que era el costo promedio aproximado para las fábricas de vidrio plano en 1935—, los costos del combustible y la energía constituyen cerca del 7 % de los costos totales de producción.

Las cifras del cuadro 17 indican que los costos del combustible y la energía no son, relativamente, tan importantes en esta industria como en la mayor parte de las otras industrias manufactureras que hemos considerado. Con todo, son mucho mayores que su correspondiente importancia relativa media en la industria en conjunto. Debemos recordar también que algunas de las otras industrias en las que los costos del combustible y la energía tienen mayor importancia relativa, por ejemplo, la del cemento y el ladrillo, no están localizadas principalmente con relación al combustible, mientras que las fábricas de vidrio plano se encuentran de

⁷ “The Glass Industry”, preparado por *The American Glass Review* para *The Development of American Industries*, J. G. Glover y W. B. Cornell (eds), Nueva York, Prentice-Hall, 1946, p. 476.

⁸ Cf. Capítulo II, B. 3.

ordinario cerca del gas natural. Por consiguiente, un costo adicional que deberemos considerar más adelante, asociado con la orientación hacia el combustible, es el de transportar el vidrio plano a los mercados importantes.

2. Costos comparativos del gas natural y de la electricidad en la producción de vidrio

Que sepamos, los hornos eléctricos no se han utilizado comercialmente en la industria norteamericana del vidrio plano. Sin embargo, su aplicación es factible desde el punto de vista técnico y en algunos pocos casos han sido utilizados en el extranjero. Dado que el vidrio que hasta ahora se ha producido en tales hornos es de peor calidad que el producido en hornos que usan el gas, será necesario el previo perfeccionamiento de los hornos eléctricos antes de que se acepten en la industria del

CUADRO 17. Vidrio plano: costos del combustible y de la energía (como porcentaje del valor en fábrica del producto) según diferentes precios del gas natural^a

Si el precio del gas natural es (centavos de dólar por cada 1,000 pies cúbicos):	Los costos del combustible y la energía serán (tanto por ciento del valor en fábrica del producto) ^b :
5	2.3
10	3.6
15	4.8
20	6.0
25	7.2
30	8.3
35	9.5
40	10.5

^a Cuadro basado en datos obtenidos del *Census of Manufactures, 1939, op. cit.*, para la industria del vidrio plano. Los otros costos, aparte el combustible y la energía, que entran en el valor en fábrica de los productos de esta industria ascenderán a Dls. 96.5 millones; la industria consumió el equivalente de 23,400 millones de pies cúbicos de gas natural en las operaciones realizadas en el horno y cerca de 254.2 millones de KWH de electricidad.

Hemos estimado el costo de la energía eléctrica consumida sobre la base del costo del gas natural teniendo en cuenta los factores especificados en el capítulo II, A.1.a., y partiendo del supuesto de que las instalaciones de producción eléctrica se utilizan al 50 % de su capacidad. Se supone, además, en el cálculo que no se produce electricidad con el calor residual procedente de los hornos.

^b Los costos del combustible y la energía se comparan con el valor en fábrica del producto, más bien que con los costos de producción, porque el censo da sólo la primera de estas cifras. Algunos datos acerca del costo de producción indicados en *Flat Glass...*, *op. cit.*, p. 66, por la Comisión de Aranceles sugieren que los porcentajes no aumentarían en más de una o dos unidades si los costos del combustible y la energía fueran comparados con el costo de producción. (Al usar los datos de la Comisión de Aranceles, el lector debe tener en cuenta que los costos del combustible y la energía allí indicados incluyen mano de obra, reparación y conservación y una parte de los gastos generales de la empresa. Cf. Comisión de Aranceles de los Estados Unidos, *Window Glass*, Washington, Gov. Printing Office, 1929, p. 22).

vidrio norteamericano. Sin embargo, no es improbable que con el tiempo, resulten adecuados para la producción de vidrio de una aceptable calidad comercial.⁹ No se pueden precisar con un elevado grado de exactitud las cantidades comparativas de energía para hornos de vidrio que utilizan el gas natural y para aquellos que usan la electricidad, puesto que las necesidades de energía varían mucho con las diferentes condiciones, pero se cree que es una comparación bastante justa la establecida entre 20,000 pies cúbicos de gas natural y 1,000 KWH de electricidad para la fundición de una tonelada de vidrio comerciable. Sobre esta base, resultarán costos iguales en ambos métodos para el combustible y la energía cuando los costos del gas natural y de la electricidad sean los indicados en el cuadro 18.

CUADRO 18. Vidrio plano: tarifas para el gas natural y la electricidad que igualan los costos del combustible y la energía en los procesos basados en el gas natural y en la electricidad^a

Gas natural (centavos de dólar por cada 1,000 pies cúbicos)	Electricidad (milésimos de dólar por KWH)
5	1.6
10	2.5
15	3.4
20	4.3
25	5.2
30	6.2
35	7.1
40	8.0

^a Se han deducido las necesidades de energía para los dos tipos de horno de cifras suministradas por la Toledo Engineering Co. Para la fundición, éstas son de 20,000 pies cúbicos de gas natural en el horno calentado por gas y 1,000 KWH de electricidad en el horno eléctrico. En el cuadro se han incluido también 200 KWH de electricidad por tonelada en ambos métodos para fines mecánicos, iluminación, etc. Este valor se ha estimado a partir de datos que se encuentran en *Census of Manufactures, 1939, op. cit.* Todos los datos se refieren al vidrio comerciable, que se ha tomado al 60 % del vidrio fundido.

No pudimos disponer de los costos, aparte el combustible, para estos dos métodos de producción. Opinan los expertos que el costo de un horno eléctrico podría ser de cerca de $\frac{2}{3}$ del costo de un horno comparable calentado por gas y que el trabajo de conservación requerido en el método eléctrico pudiera ser del 25 % del exigido por el proceso basado

⁹ Comisión de Aranceles de los Estados Unidos, *Flat Glass...*, op. cit., p. 20. Esta misma opinión se nos ha expresado también en cartas al autor dirigidas por el redactor técnico de *Ceramic Industry* y, particularmente, en las que hemos recibido de la Toledo Engineering Co., especializada en la construcción de fábricas de vidrio.

en el gas.¹⁰ Esto sugiere que la exclusión de otros costos de producción en las anteriores comparaciones desvía probablemente los cálculos en favor de los hornos de gas.

CUADRO 19. Centros más importantes de producción de vidrio plano: precio promedio del gas natural; costo estimado de la electricidad que daría lugar a iguales costos de combustible y energía; costo estimado de la electricidad obtenida con el combustible más barato de la región

Lugar ^a	Precio promedio del gas natural para fines industriales ^b (centavos de dólar por cada 1,000 pies cúbicos)	Precio de la electricidad que iguala los costos de combustible y energía basados en gas ^c (milésimos de dólar por KWH)	Costo de producción de la electricidad a partir del combustible más barato disponible en una central moderna que funcione al 80 % de su capacidad ^d (milésimos de dólar por KWH)
Centro de Virginia Occidental	23.2	4.8	3.3-3.5 (carbón)
Norte-centro de Ohio	39.5	8.0	4.0-4.2 (carbón)
Oeste de Pennsylvania	32.4	6.6	3.5-4.0 (carbón)
Norte-centro de Illinois	23.0	4.8	3.9-4.2 (carbón)
Medioeste de Missouri	19.6	4.3	3.9-4.1 (carbón)
Noroeste de Louisiana	9.3	2.4	3.4 (gas)
Centro de Oklahoma	9.9	2.5	3.3-3.5 (gas)

^a Comisión de Aranceles de los Estados Unidos, *Flat Glass...*, op. cit. (pp. 24, 41, 93).

^b *Minerals Yearbook, 1945, op. cit.*, pp. 1175-1176. Los precios indicados son promedios relativos a todo el estado para el consumo industrial de gas natural y no son necesariamente los costos para las fábricas de vidrio.

^c Deducido del cuadro 18.

^d El combustible indicado es aquél en que se basa la producción de electricidad en la región. Los datos correspondientes a los costos de combustible se han deducido de las fuentes indicadas en el capítulo II. El costo de producción de la electricidad se ha estimado para una central como la supuesta en dicho capítulo. Se ha admitido el funcionamiento al 80 % de capacidad porque el proceso de producción es continuo y puede, por lo tanto, proporcionar una carga constante con la posible excepción de la electricidad requerida fuera del horno.

3. Posibles efectos de la energía atómica

a) LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DADA LA ACTUAL LOCALIZACIÓN. El cuadro 19 presenta datos que son útiles para determinar si la energía atómica podría

¹⁰ Carta de la Toledo Engineering Co.

reducir los costos de producción del vidrio en los sitios donde hoy se fabrica. Para cada uno de los estados en los que se encuentran importantes factorías de vidrio plano, este cuadro indica 1) el valor promedio del gas natural utilizado para fines industriales en el punto de consumo, 2) el costo de electricidad por KWH que daría lugar a los mismos costos de combustible y energía y 3) el costo a que se podría producir la electricidad en la región (costo del combustible antes de la guerra) sobre la base del combustible más barato de que se puede disponer para dicho fin.

Los datos indicados en el cuadro 19 describen la situación económica en que operará la energía atómica con respecto a la industria del vidrio en los sitios en que hoy se encuentra ésta. De acuerdo con los cálculos del capítulo I, se podría producir la electricidad atómica a un costo tan bajo que quedaría comprendido entre 2.7 y 3.2 milésimos de dólar por KWH al 80 % de capacidad. Estos costos se encuentran en el límite inferior del costo atómico estimado. En la zona de variación media, los costos estimados de producción atómica al 80 % de capacidad están entre 4.6 y 5.0 milésimos de dólar por KWH. Con carácter exploratorio, podemos formular las siguientes conclusiones sugeridas por estos datos acerca de la posible importancia de la energía atómica en los actuales centros de producción:

- 1) La energía atómica no reducirá los costos de producción en la manufactura del vidrio en las regiones del sudoeste de Estados Unidos dotadas de gas natural.
- 2) Comparada con los hornos calentados por gas, la energía atómica podría reducir los costos de producción en la fabricación del vidrio en todas las demás importantes regiones productoras. Pero es probable que en ninguna de éstas reduzca los costos en las instalaciones existentes, dado que no cabe hacerlas funcionar con electricidad, salvo en el caso de reemplazar por completo el horno calentado por gas por una unidad que lo es eléctricamente. Es muy posible, por consiguiente, que el método eléctrico no se introduzca a menos que a) las instalaciones existentes se hayan gastado y deban ser reemplazadas o b) se amplíe la capacidad de producción de la región.
- 3) La electricidad producida del carbón sería una fuente de combustible y energía más barata que el gas natural en la industria del vidrio en todas las regiones dotadas de gas salvo las dos de costo mínimo. El que no se usen hoy hornos eléctricos en aquellas regiones en las que su utilización parece ser menos costosa que las unidades basadas en el gas se debe probablemente a la novedad del procedimiento y a la calidad del vidrio producido en los hornos eléctricos, calidad que por el momento resulta ser inferior.

- 4) El costo de producción de la electricidad con carbón sobre la base de los precios del mismo antes de la guerra en las regiones favorables para la adopción de los hornos eléctricos, se encontraba en todos los casos por debajo de la escala media de costos atómicos estimados. Probablemente, esto ya no es verdad con los aumentos de costo que han sufrido en recientes años la producción del carbón en las minas y transporte. Sin embargo, es probable que la electricidad atómica se llegue a introducir en estas regiones solamente si su costo cae por debajo de las estimaciones medias de costo deducidas en el capítulo I.
- 5) Incluso si los hornos eléctricos basados en energía atómica se utilizasen para aumentar la producción de vidrio en estas regiones, las economías de costo serían apenas moderadas. Si suponemos una tarifa de electricidad atómica de unos 3.5 milésimos de dólar por KWH, las economías que acarrearía en la producción del vidrio en el Norte-centro de Ohio (la región de gas con más alto costo) representarían cerca del 6 % en comparación con la fabricación basada en el gas; en Virginia Occidental, los ahorros serían de cerca del 2 %. Si la comparación se efectúa con la fabricación que utiliza electricidad basada en el carbón, los ahorros potenciales son probablemente menores.

No es posible insistir demasiado en el carácter de conjetura vinculado a las anteriores afirmaciones. El tema dominante es que la energía atómica puede prometer algunas reducciones de costo en muchos de los centros actuales cuando se compara con las que resultarían, en la fabricación del vidrio, de la utilización del gas natural o la electricidad basada en el carbón. Sin embargo, conforme veremos, cabe dudar que se introduzca nueva capacidad de fabricación del vidrio en estas regiones, excepto para servir a mercados cercanos.

b) **NUEVOS CENTROS DE PRODUCCIÓN.** Al principio de este capítulo indicamos que la disponibilidad ampliamente dispersa de las materias primas con las cuales se fabrica el vidrio estimularía a los fabricantes a situarse cerca de los mercados, si no fuese por ciertas características nada corrientes del gas natural (en el pasado dificultades de transporte; en el futuro, un posible desequilibrio entre la oferta y la demanda). Cabe esperar que los perfeccionamientos en el transporte del gas natural, junto con el uso potencial de hornos eléctricos en esta industria, puedan traer como resultado un mayor grado de orientación de las factorías hacia el mercado. ¿Afectaría el uso de la energía atómica de modo notable a esta posible tendencia futura a llevar la fabricación del gas más cerca de los mercados consumidores? En toda nuestra exposición se debe entender que el grado de orientación hacia el mercado que muestra una industria como,

por ejemplo, la del ladrillo, nunca podrá alcanzarlo la fabricación del vidrio, ya que éste se produce en factorías muy grandes. Nos referimos, pues, a grandes mercados, únicas regiones que podrían soportar fábricas de vidrio de dimensiones económicas.

El cuadro 20 reúne un conjunto de cifras útiles para contestar a esta cuestión. Se utilizan en él dos mercados importantes para los productos del vidrio plano, Nueva York y Chicago, con el fin de ilustrar, a modo de ensayo, ciertas relaciones muy a propósito. Los datos parecen apoyar las siguientes conclusiones:

- 1) Sobre la base de los costos actuales para el transporte por gasoductos, es más barato conducirlo para la producción del vidrio en las regiones que lo consumen que enviar el vidrio desde las factorías situadas en las regiones ricas en gas. Esta conclusión ha sido ya presentada antes en el presente capítulo; sin embargo, debemos poner de relieve que se basa en el costo estimado de entrega del gas en la región consumidora, costo que puede diferir considerablemente del precio a que se vende en la región. En términos de tarifas de electricidad, si éstas fueran de 11 a 15 milésimos de dólar por KWH, los costos del vidrio en los mercados consumidores serían iguales si el vidrio se envía desde la región en que se produce el gas, mientras que se requerirían tarifas de 5 a 8 milésimos de dólar por KWH para igualar los costos basados en el gas conducido por tubería.
- 2) Si no se emprende la producción del vidrio basada en gas conducido por tubos en el área del mercado de Nueva York o de Chicago a causa de la incertidumbre en lo que concierne al costo y disponibilidad futuros de éste en dichas regiones, los costos del vidrio se pueden reducir probablemente mediante el uso de hornos eléctricos que emplean electricidad obtenida del carbón. Con un factor de carga del 80 %, el costo de producción de la electricidad con carbón (precios del combustible antes de la guerra) pudiera ser de unos 4.6 milésimos de dólar por KWH en Nueva York y de cerca de 4.3 milésimos en Chicago. Incluso con importantes aumentos en los precios del carbón, los hornos eléctricos para la fundición del vidrio que usen electricidad térmica procedente del mismo podrán entrar probablemente en competencia en estas regiones con el vidrio enviado desde las localidades productoras de gas.
- 3) Parece probable, por lo tanto, que en ausencia de la energía atómica la producción del vidrio basada en el gas conducido por tuberías desde las regiones productoras o en la electricidad térmica se acercará a los mercados. El ahorro adicional en el costo del vidrio que podría resultar de la sustitución de la electricidad ordi-

naria por electricidad atómica a un precio de, por ejemplo, 3.5 milésimos de dólar por KWH no es de esperar que altere esencialmente la economía de ubicación de las fábricas.

- 4) En estas circunstancias, las ventajas de la energía atómica se limitarían principalmente a las reducciones de costo de producción que se examinaron en la sección precedente. Si, por ejemplo, la electricidad atómica que costase 3.5 milésimos de dólar reemplazara en la región de Nueva York a la electricidad térmica a base de carbón a un costo de 5.0 milésimos, los ahorros ascenderían a cerca del 2 % del costo de producción del vidrio.

CUADRO 20. Costo estimado de la electricidad en Nueva York y Chicago que igualaría los costos del vidrio plano en estos mercados de acuerdo con diversas hipótesis

Hipótesis	Costo de la electricidad en la región consumidora que igualará el costo de entrega del vidrio (en milésimos de dólar por KWH)
I. El vidrio se produce en Virginia Occidental usando gas natural que cuesta 23 centavos de dólar por cada 1.000 pies cúbicos y se envía por ferrocarril al mercado de Nueva York. ^a	12
II. El vidrio se produce en Virginia Occidental, como antes, y se envía por ferrocarril al mercado de Chicago. ^a	12
III. El vidrio se produce en Oklahoma o Louisiana usando gas natural que cuesta 10 centavos de dólar por cada 1.000 pies cúbicos y se envía por ferrocarril al mercado de Nueva York. ^a	15
IV. El vidrio se produce en Oklahoma o Louisiana, como antes, y se envía por ferrocarril al mercado de Chicago. ^a	11
V. El gas natural se conduce por tubería a Nueva York desde la región de la Costa del Golfo y el vidrio se produce en Nueva York o sus proximidades. ^b	8
VI. El gas natural se conduce por tubería a Chicago desde los campos del centro del continente (Norte-centro de Texas y Kansas), y el vidrio se produce en Chicago o en sus proximidades. ^b	5

^a Para los precios del gas, véase el cuadro 19. Los costos del transporte se han estimado de acuerdo con los datos que se encuentran en *Flat Glass...*, op. cit., pp. 71, 109, 274, 277, Comisión de Aranceles de los Estados Unidos.

^b Supuesto el costo del gas en la región productora de 5 centavos de dólar por cada 1,000 pies cúbicos. El costo de transporte se ha estimado sobre la base de los datos que se encuentran en *Problems of Long-Distance Transportation...*, op. cit., pp. 13, 55, Estudio sobre el Gas Natural hecho por la Comisión Federal de Energía.

C) CONCLUSIONES GENERALES

Varios ejemplos hipotéticos basados en datos relativos a los Estados Unidos parecen apoyar la conclusión de que, en el futuro, la producción del vidrio estará situada cada vez más cerca de los mercados más importantes para dicho artículo. Por consiguiente, la importancia de la energía atómica en su fabricación será probablemente la misma que en las otras industrias cuya producción está orientada hacia el mercado. Dado que situar la fábrica cerca de éste implica costos variables del combustible y la energía, una fuente de energía que estará caracterizada probablemente por una uniformidad geográfica en los costos debe acarrear reducciones del costo en ciertas regiones. Hasta qué punto se extenderán dichas reducciones es circunstancia limitada para la industria del vidrio, conforme se hizo notar antes, por el hecho de que el combustible y la energía no son, en este caso, una parte-tan importante de los costos totales como en la mayoría de las otras industrias manufactureras que discutimos en estos capítulos.

Por lo que concierne a otros países, probablemente no se beneficiarán mucho del uso de la electricidad atómica en la producción de vidrio aquellos en los que se puede disponer de combustible a un precio razonable. Para aquellos otros en los cuales los combustibles son escasos o caros, o ambas cosas a la vez, la energía atómica sería probablemente importante al permitir el aumento de producción del vidrio —material de construcción éste de importancia vital— y a costos que se podrían comparar favorablemente con los de Estados Unidos.

X. HIERRO Y ACERO

La importancia del combustible en la producción del hierro y el acero es crítica por las siguientes razones: el costo del combustible y la energía es en este caso un elemento considerable del costo total de producción, la presencia del carbón es un factor importante en la ubicación de las fábricas siderúrgicas, y una gran producción de acero requiere cantidades muy grandes de combustible. Los efectos de la energía atómica sobre el costo del acero, la situación e integración de las fábricas del mismo y el aumento de su producción son los temas más importantes que vamos a examinar. El uso de la energía atómica en la producción de acero ¿podría reducir los costos de producción en los sitios donde hoy se obtiene? ¿Es probable que la localización de la producción cambie merced al uso del combustible atómico sin peso en sustitución de los voluminosos y pesados combustibles ordinarios? ¿Permitiría el uso de la energía atómica aumentos importantes en la producción de acero en países que se enfrentan con el obstáculo de un suministro limitado de combustibles ordinarios?

El capítulo se inicia con una breve exposición del procedimiento de producción del hierro y el acero, de las materias primas necesarias y de los factores que afectan la ubicación e integración de las fábricas de hierro y acero. A continuación sigue una larga sección en la que se analizan los posibles efectos económicos de la energía atómica bajo diferentes hipótesis. En una sección final se formulan algunas conclusiones generales para el futuro de la industria del hierro y el acero en los Estados Unidos y otros países.

A) EL PROCESO DE PRODUCCIÓN, LAS MATERIAS PRIMAS Y LA LOCALIZACIÓN DE LAS FABRICAS

1. El proceso de producción

La siderurgia de los Estados Unidos, Europa Occidental, la U.R.S.S. y todos los demás países industrializados fabrica el hierro y el acero en tres fases: a) fundición del mineral de hierro en el alto horno para convertirlo en lingote; b) conversión del lingote de hierro en acero en un horno de aceración: el de hogar abierto, el convertidor Bessemer o el horno eléctrico; c) elaboración del acero en estado sólido, principalmente mediante la laminación. Este último proceso produce las formas básicas de la moderna manufactura del acero, a saber: lingotes, planchas, hojas, chapas, barras, tubos, rieles y formas estructurales. Estos artículos se pueden someter a ulterior elaboración mediante nueva laminación, forja, estirado

y otras operaciones. El vaciado del acero fundido (aparte de los lingotes, que son la forma inicial para la laminación) se utiliza para formas más complicadas.

2. Localización e integración de las fábricas

a) LA INTEGRACIÓN Y LA ESCALA DE PRODUCCIÓN. La fundición del mineral de hierro tiene dos finalidades: la reducción del mineral a metal y la eliminación de impurezas. El hierro, tal como se presenta en el mineral natural, es generalmente un compuesto químico de hierro y oxígeno, más varios otros elementos, principalmente sílice. Para convertir en metal el óxido de hierro que encontramos en el mineral es necesario eliminar el oxígeno. En los altos hornos modernos se usa el carbón, en forma de coque, tanto como fuente de calor como para eliminar el oxígeno del mineral. Es éste el uso mayor de combustible en todo el proceso de convertir el mineral de hierro en acero.

El combustible y la energía son también necesarios en los estadios posteriores de producción, en los hornos de aceración, los hornos para el tratamiento térmico, los trenes de laminación y los procesos galvanoplásticos.

La necesidad de grandes cantidades de calor en los sucesivos estadios de producción ha sido factor importante en lo que concierne a determinar la ubicación contigua de hornos de coque, altos hornos y fábricas de acero con el fin de reducir al mínimo el consumo de combustible. La integración de estos diferentes estadios se traduce en economía de combustión al hacer posible el paso directo del lingote de hierro en estado líquido al convertidor Bessemer o al horno de hogar abierto y al permitir el uso de los gases procedentes del horno de coque y el alto horno en procesos subsiguientes de fundición y calentamiento previos. Sobre la base de datos del Censo de Manufacturas norteamericano de 1939, resulta que la utilización de este subproducto de gases reduce el costo de producción del acero en cerca del 2 al 4 %, aparte los considerables ahorros (que no podemos estimar) que acarrea el uso del lingote de hierro fundido.

Aunque las economías de combustible son el elemento más importante que une el alto horno a los hornos de hogar abierto y al convertidor Bessemer, las economías en el transporte tienen suma importancia para explicar por qué los trenes de laminación y acabado se encuentran junto a las fábricas de acero. La ubicación contigua de estas fases del proceso evita el transporte de lingotes a la fábrica de laminación y el de la chatarra, que se produce en las operaciones de los trenes de laminación (aproximadamente el 25 % del peso de los lingotes) a los hornos de hogar abierto y eléctricos. La economía del combustible entra también en

juego porque los gases que se obtienen como subproducto se utilizan para calentar los lingotes a las temperaturas requeridas en la laminación y para muchas otras finalidades en los trenes de laminación. Así, pues, las economías de combustible y transporte han conducido a la integración de los tres estadios de la producción del hierro y el acero dentro de los límites de unidades fabriles gigantescas.

b) LOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. La ubicación de las fábricas de hierro y acero está fuertemente influida por las cantidades relativas de las varias materias primas requeridas para la fabricación del acero y por las diferentes tarifas de transporte de estos materiales y de los productos acabados. Desde el punto de vista del peso, las materias primas más importantes (aparte el aire y el agua) son el mineral de hierro, la chatarra, el combustible y la piedra caliza. Esta última carece de importancia en lo que atañe a la ubicación, porque las cantidades que de ella se necesitan son relativamente pequeñas y porque sus yacimientos se encuentran ampliamente distribuidos. Las proporciones exactas que se requieren de los otros materiales varían con factores tales como el grado del mineral de hierro, el costo y disponibilidad relativos de éste y de la chatarra y la clase de equipo utilizado para la fabricación del acero.

Dado que las formas acabadas de acero son el producto final de las fábricas siderúrgicas integradas, es útil calcular el peso de los materiales necesarios por unidad de acero acabado. Las proporciones en que se usaron las materias primas más importantes desde el punto de vista económico en la producción de aquél en la siderurgia norteamericana en 1939, fueron aproximadamente las siguientes (en libras por cada 100 libras de productos acabados de acero):¹

Combustible y energía (en equivalentes de carbón)	177 libras
Carbón como tal	140
Energía eléctrica adquirida y otros combustibles (en equivalentes de carbón)	37
Mineral de hierro	138
Chatarra de hierro y acero comprada	36
Piedra caliza	31

El "peso del mercado" comparable con los pesos especificados para el carbón y el mineral de hierro se puede deducir sumando el peso de los productos acabados y de la chatarra adquirida (dado que ésta se genera en grandes cantidades en los mercados del acero). Por consiguiente, los pesos de los factores que importan para la ubicación de una fábrica in-

¹ Basadas en los datos del *Census of Manufactures, 1939, op. cit.*, y en el *Annual Statistical Report, 1940*, del Instituto Americano del Hierro y el Acero, Nueva York, 1941.

tegrada de acero basados en la práctica de 1939 son (en libras por cada 100 libras de productos acabados de acero):

Carbón	140 libras
Mineral de hierro	138
"Mercado"	136

De estos pesos deducimos que, aparte las diferencias entre las tarifas de transporte del carbón, el mineral de hierro, la chatarra y el acero acabado (que tenderían a incrementar la atracción relativa del mercado debido a que las tarifas para el acero acabado son generalmente más elevadas), las tres principales fuerzas que intervienen en la ubicación son casi iguales. En estas condiciones, es claro que la coincidencia de dos de ellas cualesquiera sería, por lo general, suficientemente fuerte para atraer a las fábricas de acero. En el pasado, la coincidencia de fuerzas tenía lugar generalmente entre el carbón y el mercado, lo que se debe a que la presencia del carbón en una región determinada ha proporcionado la base para el desarrollo de diversas industrias que constituyen los principales mercados para el acero. De acuerdo con esto, el mineral de hierro se ha llevado por lo regular a las regiones carboníferas (y al mercado). Esto explica la localización de las fábricas de acero en Pittsburg y en el Ruhr.²

Aunque la coincidencia carbón-mercado ha influido en la ubicación de los mayores centros de producción del acero, otros factores han intervenido también en ello de modo notable. He aquí algunos ejemplos:

a) Coincidencia del carbón, el mineral y el mercado	Birmingham, Alabama
b) Coincidencia del mineral y el mercado	Fontana (Los Angeles), California
c) Ninguna coincidencia (mercado situado entre el mineral y el carbón)	Chicago

La cantidad efectiva de capacidad instalada en una localidad cualquiera estará determinada generalmente por las dimensiones de su área de mercado tributaria. Así, Pittsburg y Chicago, que cuentan con los mayores mercados tributarios, son asimismo las mayores áreas del acero. Los efectos de los sistemas de fijar precios y tarifas de transporte son también muy importantes en lo que concierne a determinar la localización de la fábrica, aunque no podemos examinarlos aquí en detalle.

² Cf. Richard Hartshorne, "Location Factors in the Iron and Steel Industry", *Economic Geography*, vol. 4, julio de 1928.

Las cuestiones de localización, escala e integración de la producción de acero figurarán de manera preeminente en el análisis que sigue. Debemos antes poner de relieve dos hechos de que se habló en los párrafos precedentes. El primero es que la economía en la utilización del combustible es una de las piedras angulares de la actual estructura integrada de la producción del acero en una sola localidad en forma de muy grandes fábricas. Cambios importantes en las bases técnica y del combustible de esta industria podrían eventualmente causar el desplome de esta estructura. El segundo es que, conforme hemos hecho notar, las necesidades de carbón han tenido importante influencia en la ubicación de las fábricas de acero. Si el carbón se reemplazase por una fuente de energía de peso extraordinariamente reducido, de manera que el peso del combustible y el mineral no fueran ya aproximadamente iguales, aumentaría la influencia relativa de los depósitos de mineral de hierro y del mercado en la localización de la fábrica. El alcance y la dirección de los posibles cambios se considerarán en el resto de este capítulo.

B) POSIBLES EFECTOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA SOBRE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN, LA LOCALIZACIÓN DE LA FÁBRICA Y LA INTEGRACIÓN

1. Hipótesis en que se basa el análisis

Es preciso sentar con claridad varias hipótesis importantes para la comprensión de nuestro análisis. Figura en primer lugar la hipótesis según la cual la energía atómica se utilizará en la producción siderúrgica más bien en forma de energía eléctrica que mediante calor obtenido directamente del reactor nuclear. No significa esto que dicho calor no será nunca utilizado en esta industria. Lo que de hecho refleja nuestra hipótesis es la creencia corriente de que la producción y transmisión de calor a temperaturas suficientemente elevadas para fundir el mineral de hierro es menos probable que el uso de los reactores nucleares para generar electricidad. Dado que cabe perfilar importantes probabilidades para la electricidad atómica, hemos decidido no recargar el análisis con las comparaciones adicionales que hubiera requerido la consideración del calor nuclear.³

³ En el capítulo I se examinan algunos de los problemas técnicos que plantea la explotación de los reactores nucleares con vistas a la producción de calor a elevadas temperaturas. El que se decidiera considerar el calor nuclear en el análisis de la industria del cemento realizado en el capítulo VII no refleja mayor confianza en su aprovechamiento para aquel fin, puesto que los problemas técnicos son aproximadamente los mismos. El análisis relativo al calor directo se utilizó meramente como ejemplo ilustrativo de la manera como la energía térmica pudiera hallar un empleo económico (de ser técnicamente factible) en una industria cuyas operaciones basadas en la electricidad resultan muy costosas.

En segundo lugar, examinaremos sólo los efectos directos de la energía atómica sobre la industria siderúrgica. Puesto que la industria del acero tiene importancia tan fundamental en cualquier economía industrializada, se verá influida por el impacto de la energía atómica sobre las industrias que constituyen mercados importantes para el acero, y sobre aquéllas que compiten con éste, al igual que por los efectos de la energía nuclear sobre la actividad económica en conjunto. Por ejemplo, como resultado de la utilización comercial de la energía atómica, la demanda de acero puede decrecer debido a que la producción de equipo ferroviario, importante aplicación del acero, podría resultar reducida.⁴ Pero el problema de los efectos indirectos no se puede tratar satisfactoriamente hasta tanto no hayamos comprendido mejor los efectos económicos globales de la energía atómica así como los efectos directos o de primer orden sobre industrias específicas. He aquí la razón por la que no tocaremos este punto.

Además de nuestras dos hipótesis generales, los efectos de la energía atómica en la industria del acero se examinan partiendo de tres hipótesis específicas: a) no existe cambio alguno básico en la técnica; la industria continúa utilizando la electricidad en las mismas proporciones que hoy y en los mismos lugares de producción. b) No existe cambio alguno básico en la técnica, pero como respuesta a la reducción de los costos de la electricidad, los hornos eléctricos de aceración que utilizan chatarra de hierro y de acero como materias primas para la producción de acero pueden contribuir en mayor proporción a la producción total de dicho artículo. c) Ocurren cambios básicos en la tecnología del hierro y el acero en virtud de los cuales la electricidad se utilizará como combustible metalúrgico para reducir el mineral de hierro a lingote.

2. Efectos sobre los costos suponiendo que no ocurran cambios en la localización ni en la tecnología, ni que aumente relativamente el consumo de electricidad

La energía consumida por la siderurgia norteamericana en 1939, cuando trabajaba aproximadamente al 66 % de su capacidad, resultó ser de cerca de 69 millones de toneladas de equivalente de carbón bituminoso, de los que 55 millones fueron carbón bituminoso y el resto principalmente petróleo combustible, gas natural y electricidad. El combustible consumido como carbón bituminoso representaba el 14 %, aproximadamente, de la producción total bituminosa en los Estados Unidos en 1939,

⁴ El descenso de la demanda de equipo ferroviario podría ser consecuencia de la disminución del transporte por ferrocarril debida a menores embarques de carbón o como consecuencia de recorridos más cortos resultantes de haberse situado ciertas industrias más cerca de los mercados o de las materias primas.

mientras que el consumo total de combustible vino a ser un 8 % de todos los combustibles minerales producidos. La cantidad de carbón consumido como tal es especialmente significativa, puesto que representa en buena parte carbón convertido en coque para su uso en los altos hornos. Para este uso no existe hoy sucedáneo alguno efectivo del carbón bituminoso coquizable.

El costo de la energía es un elemento importante en el costo de fabricación del acero. En 1939 representaba aproximadamente el 11.5 % del valor de la producción de la industria de dicho metal.⁵ Un ulterior desglose del costo de la energía revela que el costo del combustible representa el 10 % del valor de la producción y el costo de la electricidad adquirida tan sólo cerca del 1.5 %.⁶

Cuando trabaja a plena capacidad, la industria del acero es el mayor consumidor de energía eléctrica entre todas las industrias manufactureras norteamericanas, pero la cantidad y costo de la electricidad utilizada por dólar de producto son muy bajos. Cuando se asigna un valor a la electricidad producida en la propia industria del acero para su uso particular y se añade este valor a la electricidad adquirida, el costo total de electricidad no representa más del 3 % del valor del producto. Por consiguiente, podemos concluir que, a menos que el costo de la electricidad para la industria del acero sobrepase el costo de 1939, la mera sustitución por electricidad atómica más barata (posiblemente) en esta industria en los actuales centros y de acuerdo con la técnica presente tendrá efectos completamente insignificantes sobre el costo de los productos de acero.

3. Efectos de la energía atómica teniendo en cuenta el posible incremento de la importancia relativa de la producción de acero con horno eléctrico

a) LOS COSTOS COMPARATIVOS DE LA PRODUCCIÓN DE ACERO CON HORNOS DE HOGAR ABIERTO Y ELÉCTRICO. La conversión del lingote de hierro en acero se realiza hoy principalmente en hornos calentados por combustible más

⁵ Tanto el valor de la producción como el costo del combustible y la energía se estimaron a partir de datos del *Census of Manufactures, 1939, op. cit.*, correspondientes a "altos hornos" y a "fábricas de acero y de laminación". El valor de los productos que aparece en el censo representa el precio de venta f.o.b. fábrica de los productos manufacturados, no sus costos de producción.

⁶ Existe otro costo atribuible a la energía en la producción del acero: el costo adicional de transporte incorporado en el producto final como resultado de haber escogido para la producción sitios bien situados con respecto al carbón. De no ser por el peso relativamente grande del carbón que se necesita por tonelada de productos de acero, podrían elegirse sitios más próximos al mineral de hierro o más próximos al mercado, reduciendo así los costos del transporte del mineral o del acero acabado, respectivamente. Estos costos se considerarán en el análisis que sigue tocante a las posibilidades de desplazamiento de la producción como consecuencia de la energía atómica.

bien que en hornos eléctricos. En los Estados Unidos, algo menos del 4 % en peso de todo el lingote de acero se produjo en 1946 en hornos eléctricos; el resto procedía casi por completo de hornos de hogar abierto. La hipótesis de la sección anterior no tomaba en cuenta la sustitución en la producción de acero de otros hornos por el horno eléctrico. Admitiremos ahora condiciones más amplias que se ajustan a un incremento en la utilización de los hornos eléctricos en la producción del acero. El problema inmediato, por lo tanto, es determinar los precios relativos de la electricidad y el combustible (principalmente el petróleo combustible) en virtud de los cuales el horno eléctrico sustituirá al de hogar abierto en la producción de este metal y estimar los efectos de semejante sustitución.

Supuesto que en ambas clases de horno, los costos, aparte el combustible, son aproximadamente los mismos —hipótesis más o menos correcta—, los costos comparativos del combustible para el horno de hogar abierto y de la electricidad que igualarán los costos totales en uno y otro proceso se pueden determinar sobre la base de los datos del cuadro 21.⁷

CUADRO 21. Precios comparativos del petróleo combustible y de la electricidad que igualarán los costos de fundición por tonelada de acero en los hornos eléctricos y de hogar abierto^a

(1)	(2)	(3)
Si el precio del petróleo combustible es (centavos de dólar por galón):	El costo de la energía en el horno de hogar abierto será ^b (Dls. por tonelada de acero):	Los costos en el horno eléctrico igualarán los de la col. 2 si el precio de la electricidad es ^c (milésimos de dólar por KWH):
3	0.78	1.5
4	1.04	2.0
5	1.30	2.5
6	1.56	3.0
7	1.82	3.5
8	2.08	4.0
9	2.34	4.5
10	2.60	5.0
11	2.86	5.5
12	3.12	6.0

^a Se supone que los costos, aparte el combustible, son iguales en los dos procesos.

^b Hemos supuesto un insumo de 26 galones por tonelada de acero fundido en el caso del horno de hogar abierto que se beneficia de la economía de combustible conseguida en las fábricas de acero integradas.

^c Hemos supuesto que se requieren 525 KWH por tonelada de acero fundido para una carga de chatarra fría.

⁷ Esta hipótesis y los datos acerca de las necesidades comparativas de energía en los dos tipos de horno se han deducido de J. M. Camp y C. B. Francis, *Making*,

Estas comparaciones sugieren que el costo de fusión por tonelada en el horno eléctrico que utilizase la energía atómica oscilaría entre poco menos y poco más del costo de fundición en el horno de hogar abierto. Siendo entre seis y siete centavos de dólar por galón el precio del petróleo combustible (precio aproximado en 1946-1947) el precio igualador de la energía atómica estaría aproximadamente en el límite de los costos atómicos realizables. Por encima de este límite, la energía atómica a 4 milésimos equivaldría a 8 centavos de aceite combustible y a 5 milésimos, a 10 centavos de petróleo combustible. En cualquier caso, las diferencias en los costos de fundición existentes entre uno y otro método carecerían de importancia, sobre todo comparadas con los precios corrientes del acero acabado de más de Dls. 80 por tonelada. Sin embargo, el horno eléctrico pudiera conducir a un considerable aumento relativo de la producción de lingote de acero debido a sus ventajas como productor de acero de calidad y por razón de la flexibilidad en la localización que tendría si se basara en la energía atómica.

b) CAMBIOS DE LOCALIZACIÓN RESULTANTES DEL USO DE HORNOS ELÉCTRICOS BASADOS EN LA ENERGÍA ATÓMICA. Conforme hemos visto, es posible que las relaciones entre el precio de la energía atómica y el de otros combustibles sean tales, que los costos de los procesos de reducción del acero basados en el horno eléctrico y en el de hogar abierto sean virtualmente iguales. En estas circunstancias, los hornos eléctricos podrían conducir a un incremento cada vez mayor en la producción del acero, a causa de las ventajas inherentes a la localización.

En Estados Unidos, los hornos eléctricos producen el acero casi exclusivamente con chatarra de este metal; de 3.2 millones de toneladas de hierro cargadas en hornos eléctricos, 3.0 millones lo fueron en forma de chatarra.⁸ Dos serían los principales factores determinantes de la ubicación en el caso de fábricas que utilizasen el horno eléctrico basado en la energía atómica y en la chatarra de acero: el suministro de la chatarra en una área dada y las dimensiones del mercado consumidor. Por consiguiente, estas fábricas tenderían a situarse cerca de los centros consumidores de acero, dado que estas áreas producen automáticamente buena

Shaping and Treating of Steel, 5ª ed., Pittsburg, Carnegie-Illinois Steel Corp., 1940, pp. 384 y 504. Aunque el horno eléctrico origina un gasto adicional motivado por el consumo de electrodos (igual aproximadamente a Dls. 1.00 por tonelada), presenta ventajas que lo compensan cuando lo comparamos con el horno de hogar abierto en lo que concierne a la mejor calidad de los aceros, economía en el uso de aleaciones metálicas, mayor rendimiento de metal por unidad de carga y control virtualmente completo del contenido de fósforo, azufre y oxígeno.

⁸ Instituto Americano del Hierro y el Acero, *Annual Statistical Report*, 1945, Nueva York, 1946, p. 26. Los hornos eléctricos pueden también producir acero con hierro en lingote y mineral de hierro, pero es ésta una práctica poco común.

cantidad de chatarra, por obsolescencia de equipo y debido a la fabricación de productos del acero, y posiblemente en cantidad suficiente para hacer practicable las instalaciones. Al situar los hornos eléctricos en los mercados del acero se ahorraría el costo del transporte a) del acero acabado desde los actuales sitios de producción al mercado y b) de la chatarra desde las áreas de mercado a los centros de producción de acero. La cuantía de la economía en el transporte que pudiera resultar de este cambio de ubicación, queda puesta de manifiesto por el porte promedio por tonelada de productos de acero transportados, que en 1944 fué de Dls. 5.23 y de Dls. 4.97 en 1945.⁹ Por otra parte, el traslado de los hornos convertidores implicaría probablemente la pérdida de ciertos beneficios vinculados a la fabricación integrada a la cual debiera asignarse un valor en dólares, de manera que las economías en el transporte no representarían en realidad un ahorro neto.

¿Qué grado de descentralización cabría esperar en la producción del acero si se llevase energía atómica barata a centros consumidores de dicho metal productores de grandes cantidades de chatarra? Es menester considerar dos factores principales: uno concierne a la limitación general de esta forma de desarrollo y el otro a los tipos de localidades que podrían soportar instalaciones de las dimensiones adecuadas.

Consideremos primero las limitaciones generales. Es obvio que el límite de expansión del horno eléctrico estaría determinado por el suministro de chatarra. Dado que es poco probable que en las próximas décadas la cantidad de chatarra adquirida (esto es, la chatarra que no procede de la propia producción de acero y hierro en lingotes) exceda en Estados Unidos de entre 30 y 40 millones de toneladas, es claro que el mineral de hierro y el carbón seguirán siendo la fuente principal de la producción norteamericana de acero. Además, las fábricas integradas que se basan en el mineral de hierro y en el carbón continuarán compitiendo en lo que concierne a la adquisición de chatarra y pueden incluso ofrecer precios más elevados por la misma, de tal manera que el desarrollo de fábricas eléctricas de acero descentralizadas pueda resultar muy difícil. Parece razonable deducir de esto que, en el mejor de los casos, sólo una parte de la chatarra disponible volvería a aparecer como acero producido en los hornos eléctricos descentralizados.

Las clases de localidades que podrían sostener fábricas eléctricas de

⁹ Calculado a base de cifras del costo del transporte del hierro destinado al exterior y de los productos de acero que figuran en Instituto Americano del Hierro y el Acero, *Steel Facts*, Nueva York, abril de 1947, pp. 1-2. La cuantía de las posibles economías en el transporte sugieren que, incluso sin energía atómica, se podría economizar en el costo al producir acero eléctrico con chatarra en las regiones consumidoras, comparado con los métodos ordinarios en los centros existentes. En tal caso, la energía atómica podría reforzar los factores que favorecen el cambio.

acero basadas en chatarra de este metal estarán determinadas, en parte, por el éxito que tengan los esfuerzos que se llevan a cabo en la actualidad para perfeccionar técnicas de acabado del acero en pequeña escala. La tendencia que se advierte en el desarrollo de las instalaciones de laminación ha acentuado cada vez más la utilización de grandes unidades, tanto en el estadio de semiacabado como en el de acabado. Los trenes continuos para productos muy planos (láminas, hojalata, planchas), por ejemplo, pueden laminar casi un millón de toneladas por año. La menor instalación continua en Estados Unidos, la fábrica Allegheny-Ludlow en Brackenridge, Pennsylvania, posee una capacidad anual de 308,000 toneladas netas.

Existen hoy trenes eficientes para la laminación en pequeña escala de acero de perfil estrecho, por ejemplo el de McLouth, cuyo rendimiento se aproxima al de fábricas mayores. La producción de este tipo de instalaciones oscila entre 125,000 y 250,000 toneladas por año. Se encuentran también ciertas clases de pequeños trenes de alto rendimiento, para la laminación de materiales de sección menor. El vaciado continuo de las secciones básicas de acero (barras, pequeñas estructuras, etc.) se ha conseguido ya en el terreno experimental. Este proceso de convertir el acero en formas útiles es un proceso en pequeña escala. Es también posible que instalaciones más pequeñas y más flexibles para la laminación de varios tipos de acero (con la posible excepción de grandes formas estructurales) puedan llevarse a un estado de eficiencia comparable con el de las grandes instalaciones continuas. Si la energía atómica barata fuera acompañada de laminación o de otros procesos de acabado, eficientes y en pequeña escala, el número de localidades en las que se podría producir acero y manufacturarlo en productos acabados sería mayor que a base de las técnicas actuales.

Las grandes ciudades y las áreas industriales que consumen un millón o más de toneladas de acero por año en la manufactura de productos del mismo y con una producción actual de acero mucho menor que esta cantidad —o ninguna—, constituirían el terreno natural para levantar en ellas fábricas de acero eléctricas y trenes de laminación. El consumo de un millón de toneladas de acero en las operaciones de manufactura produciría normalmente cerca de 200,000 toneladas de chatarra recuperable. Esto, junto con la chatarra vieja de que se dispone en tales regiones, sería suficiente para poner en marcha una fábrica a base de 500,000 toneladas de lingote que proporcionase entre 300,000 y 350,000 toneladas de acero acabado o, aproximadamente, entre el 30 y el 35% de la demanda de acero de la región. La región oriental costera, desde Filadelfia y Nueva York hasta Boston, las zonas de Los Ángeles, San Francisco y Seattle, las ciudades de la Costa del Golfo y grandes ciudades del inte-

rior, como Detroit y St. Louis, son sitios en los que sería factible este desarrollo.¹⁰

4. *Efectos de la energía atómica acompañados de cambios fundamentales en la técnica de la reducción del mineral de hierro, esto es, la sustitución de carbón coquizable por la electricidad*

Si la tecnología del hierro y el acero no experimenta cambio alguno, como hemos supuesto en las secciones precedentes, el efecto más importante de la energía atómica sobre la industria del acero en los Estados Unidos sería, en el caso más favorable, el de dar lugar a una cierta descentralización de la producción del mismo basada en el uso de hornos eléctricos de aceración. Pero la mayor parte de la producción continuaría basándose más bien en el carbón que en la energía atómica y es de presumir que seguiría las líneas establecidas y tendría lugar en los mismos sitios que hoy, excepto en lo que concierne a cambios resultantes de desplazamientos en las fuentes del mineral de hierro y de carbón para esta industria.

Examinaremos ahora los efectos de la energía atómica en el supuesto de que cambie la tecnología de la fabricación del hierro y el acero de tal manera que la fundición del mineral de hierro no requiera el coque metalúrgico. Dos son las clases de procesos conocidos mediante los cuales puede fundirse el mineral de hierro sin utilizar carbones coquizables:

a) La fundición eléctrica del mineral de hierro en lingote de hierro o directamente en acero. El horno Electro-Metal empleado en Suecia es un ejemplo de hornos que producen lingote de hierro con el mineral de hierro utilizando energía eléctrica como fuente de calor y carbono como agente reductor.

b) El proceso del hierro "esponja" o poroso, o método de la reducción a baja temperatura, que utiliza gases carbonosos, gases de hidrocarburos o hidrógeno puro como agente reductor y diferentes combustibles a base de carbono o energía eléctrica como fuente de calor.

La primera clase de proceso, si bien no requiere carbón coquizable, sí exige alguna forma de materia carbonosa. Los hornos de fundición eléctrica se utilizan, o se han utilizado comercialmente, en Suecia, Noruega, Finlandia, Italia y el Japón. En Suecia se produce cierta cantidad de hierro esponja o poroso, y durante la guerra una empresa gubernamental, la Defense Plant Corporation, construyó una en Warren, Ohio, que utilizaba gas de hidrocarburo. El proceso que emplea el hidrógeno puro, aunque descubierto por Stuart, un metalúrgico canadiense, al final de la primera guerra mundial, hasta hace poco no ha sido objeto de es-

¹⁰ Algunos de estos lugares producen ya acero, pero no en cantidad suficiente para satisfacer sus propias necesidades.

tudio experimental sistemático y todavía no se han construido hornos de este tipo en escala comercial.

a) LA FUNDICIÓN ELÉCTRICA DEL MINERAL DE HIERRO. Nos limitaremos en esta sección a la reducción del mineral de hierro a lingote de hierro. Aunque es también técnicamente factible reducir el mineral directamente a acero en un horno eléctrico, a la vista de los datos de que podemos disponer el primer procedimiento parece ser mucho menos costoso.¹¹

1) *Costos comparativos de la fundición en los hornos eléctricos y en los altos hornos.* En el cuadro 22 se resumen los precios comparativos del carbón coquizable y de la electricidad que resultarían en costos iguales para la producción de lingote de hierro en el horno de coque y en el horno eléctrico de cúpula. En ese cuadro se supone mineral de hierro con un contenido de hierro de cerca del 50 % y condiciones ordinarias de operación. Las condiciones iguales de costo por tonelada corta de lingote de hierro adecuado para la producción de acero están especificadas aproximadamente por la ecuación:¹²

Horno eléctrico de cúpula (2,268 KWH + 635 libras de carbón vegetal o coque de gas + 10 libras de electrodos + 3.6 horas-hombre) = alto horno de coque (1.850 libras de coque + 1.0 horas-hombre).

Los costos de capital pueden ser más baratos para el horno eléctrico por tonelada de capacidad, debido a la simplicidad de su diseño en comparación con el alto horno de coque; pero, dado que la diferencia de cargas fijas por tonelada no es probable que exceda de Dls. 0.50, los hemos supuesto iguales.

El carbón vegetal es generalmente tan caro o más que el coque metalúrgico, pero el gas de coque y otros materiales carbonosos, como el lignito y la turba, son más baratos. Para simplificar, supondremos que el precio de todos ellos es el mismo. Supondremos también que una hora-hombre de trabajo cuesta Dls. 1 y una libra de electrodos ocho centavos. Substituyendo estos precios en la ecuación anterior obtenemos la igualdad:

$$2,268 \text{ KWH} \times (\text{milésimos por KWH}) + \text{Dls. } 3.40 = 1,725 \text{ libras de carbón coquizable}^{13} (\text{precio del carbón coquizable}).$$

¹¹ Cf. Alfred Stansfield, *The Electric Furnace for Iron and Steel*, Nueva York, McGraw-Hill Book Co., 1923, p. 432.

¹² *Ibid.*, p. 47, y Departamento de Comercio de Estados Unidos, *Foreign Commerce Weekly*, vol. 19, 12 de mayo de 1945, p. 47.

¹³ En el supuesto de que se requieren 1.42 libras de carbón por libra de coque.

CUADRO 22. Precios comparativos del carbón coquizable y de la electricidad que igualarán los costos de producción de lingote de hierro en los altos hornos de coque y en el horno eléctrico de cúpula^a

Si el precio del carbón para coque es (Dls. por tonelada corta):	La tarifa de electricidad que igualará los costos de producción es (milésimos de dólar por KWH)
4	0.0
6	0.8
8	1.5
10	2.3
12	3.1
14	3.8
16	4.6
18	5.3
20	6.1

^a Dejando de lado las cantidades comunes a uno y otro caso, suponemos que para obtener una tonelada de lingote de hierro se requieren: para el horno eléctrico, 2.268 KWH de electricidad, 635 libras de carbón vegetal o de coque de gas, 10 libras de electrodos y 3.6 horas-hombre de trabajo; para el alto horno de coque, 1,850 libras de coque metalúrgico y 1.0 horas-hombre de trabajo. El trabajo se ha tomado a razón de Dls. 1.00 por hora-hombre y los electrodos a ocho centavos por libra.

2) *Posibilidades de reducción del costo que ofrecería la energía atómica en los más importantes centros de producción de acero.* Las comparaciones del cuadro 22 muestran con claridad que la reducción del mineral de hierro a lingote de hierro en el horno eléctrico basado en la electricidad atómica no puede conseguir una posición segura en las regiones más importantes de producción del acero en los Estados Unidos, a menos que el precio futuro del carbón coquizable sea muy superior a los que regían en el pasado. Su precio promedio en 1937 era, en los Estados Unidos, de Dls. 3.74 por tonelada corta; la electricidad atómica, incluso ni a ningún costo podría competir a este precio con el carbón coquizable. En 1946, el precio promedio del carbón utilizado en los Estados Unidos para la coquización ascendió a Dls. 5.77 por tonelada corta, pero aun para competir con carbón a este precio el costo de la electricidad atómica tendría que ser inferior a 0.8 milésimos de dólar por KWH. Nuestros cálculos indican que es muy poco probable que la electricidad atómica llegue jamás a producirse a precio tan bajo con las técnicas de producción que se prevén hoy.

De acuerdo con los datos del cuadro 22, la reducción eléctrica del mineral de hierro basada en la electricidad atómica no entrará en la misma área general de costos que los altos hornos de coque hasta tanto el precio del carbón para coquización no sea por lo menos de Dls. 12 por tonelada corta. No es posible saber con certeza el punto preciso en que

se igualarán los costos, debido a que son tantas las variables a considerar, pero cabe aceptar un margen de precios del carbón coquizable que va de Dls. 12 a 15 por tonelada corta como buena base para los fines que perseguimos. Incluso con los precios actuales de inflación, no se han alcanzado estos niveles en Estados Unidos. Por lo tanto, parece razonable concluir que la electricidad atómica no ofrece posibilidades de reducción del costo en los centros más importantes de producción del acero en los Estados Unidos si se la utiliza para reducir mineral de hierro en hornos eléctricos de cúpula. La reducción del mineral de hierro seguirá probablemente, en esencia, por las rutas bien conocidas de la presente tecnología.

3) *La posibilidad de la fundición del hierro en nuevos sitios.* Las regiones en las que actualmente se funde el hierro se encuentran, claro está, favorablemente situadas por lo general con respecto a los yacimientos carboníferos. Ciertas localidades han llegado a ser importantes centros de producción del hierro porque, en su caso, los costos combinados de reunir el material, del que hoy el carbón es un importante elemento, y de transportar el producto acabado son bajos comparados con los de otras localidades. Pero la técnica de reducción del mineral que ahora examinamos daría probablemente lugar, de adoptarse, a factores distintos determinantes de la ubicación, puesto que la cantidad de carbón requerida para la fundición es solamente entre el 33 y el 50 % de la requerida en el alto horno de coque. Por consiguiente, la relativa atracción locacional del mineral de hierro y del mercado sería mayor. Pero sea cual fuere la localización, el método del horno eléctrico no podría competir (cuadro 22) a menos que los costos del carbón estuviesen comprendidos, como mínimo, entre Dls. 12 y 15 por tonelada. En Estados Unidos, los precios del carbón para los grandes consumidores se encontrarían generalmente por debajo de este nivel, incluso en regiones alejadas de las minas. Llegamos con esto a la conclusión de que la fundición eléctrica del mineral de hierro en un horno eléctrico de cúpula, como el horno Electro-Metal, si se basara en energía atómica, probablemente no allanará el camino para una nueva localización de la fundición del hierro en Estados Unidos.

b) **LOS PROCESOS A BAJA TEMPERATURA (HIERRO POROSO).** El hierro poroso es un óxido de hierro en forma porosa cuyo contenido de hierro oscila entre el 85 y el 97 % y se obtiene reduciendo el mineral de hierro a temperaturas inferiores a la de fundición. Este proceso ha interesado a los metalúrgicos desde hace muchos años, puesto que requiere menos energía por unidad de producción y en virtud de poderse utilizar como agentes reductores y fuente de calor combustibles diversos, como residuos

quemados de materias vegetales (por ejemplo, el aserrín y la cáscara de café), el carbón bituminoso que se encuentra naturalmente o como resultado de carbonización, la madera, la turba y el lignito, así como combustibles gaseosos como el gas natural, el gas de carbón, el gas de petróleo, el gas de agua o la llama de carbón pulverizado. La energía eléctrica puede también usarse como combustible junto con algún agente reductor carbonoso o a base de hidrógeno. Además, el mineral de hierro se presta a este proceso en las condiciones físicas más variables, si bien puede ser necesario un tratamiento previo para darle una forma química más conveniente.

Diversos factores técnicos y económicos han impedido la explotación comercial del proceso del hierro poroso. Las dificultades principales inherentes a los hornos para dicha clase de hierro, cuando se construyen en escala comercial, resultan ser la adhesibilidad del hierro, que se pega a las paredes del horno, y la deposición del carbón; los dos atrancan el horno. Aunque la eliminación de estas imperfecciones técnicas plantea considerables problemas de ingeniería, no parecen ser éstos de diferente magnitud que las dificultades con que, por lo general, se tropieza en la fase inicial de desarrollo de cualquier proceso nuevo. En vista de la corrección teórica de la química y la metalurgia del proceso del hierro poroso y la producción comercial de éste en Suecia, si bien en muy pequeña escala, es razonable suponer que, a la larga, se podrá encontrar un proceso comercialmente satisfactorio.¹⁴ Hasta hoy se ha dedicado relativamente poco esfuerzo a la solución de los problemas de ingeniería que se plantean.

Aunque una consideración completa de las posibilidades potenciales inherentes a las técnicas de producción del hierro poroso requiere el análisis de muchos métodos y su posible aplicación en regiones específicas, hemos decidido concentrarnos en sólo una *posibilidad, entre las muchas que existen. Nos referimos a la técnica que usa el hidrógeno como agente reductor. La razón para elegirla estriba en que el hidrógeno se puede obtener mediante la electrolisis del agua, con lo cual este método crea la posibilidad de una sustitución completa en la fundición del mineral de hierro de los combustibles a base de carbón por la electricidad. De tener éxito, quedaría allanado el camino para cambios más importantes que en el caso de cualquiera de los otros métodos posibles cuando se considera aquél en conexión con la energía atómica como fuente de electricidad.¹⁵

¹⁴ Para una descripción de los procesos de hierro poroso, véase C. E. Williams, E. P. Barret y B. M. Larsen, *Production of Sponge Iron*. Departamento del Interior de los Estados Unidos, Oficina de Minas, boletín 270, Washington, 1927; además, *Use of Sponge Iron in Steel Production*, por R. C. Buehl, M. B. Royer y J. P. Riott, Departamento del Interior, Oficina de Minas, R. I. 4096, Washington julio de 1947.

¹⁵ Existen otros métodos para reducir el mineral de hierro sin utilizar carbón.

Dos son los procesos que utilizan el hidrógeno ensayados durante la guerra. La Madaras Steel Corporation en Long View, Texas, construyó un horno basado en la reducción del mineral de hierro precalentado con hidrógeno caliente (contenido en el gas natural reformado) bajo presión pulsante (proceso Madaras). El otro experimento fué llevado a cabo por la Oficina de Minas en el Centro Experimental de Minas, Minneápolis, Minnesota. En ambos ensayos se tropezó con dificultades. La investigación continuada del Centro Experimental de Minneápolis de la Oficina de Minas ha conducido a la conclusión de que el hierro poroso se puede producir en condiciones óptimas mediante el método de reducción por hidrógeno si se emplea el mineral de hierro en forma de gránulos en vez de finamente molido cual se hizo en los primeros intentos. El hierro poroso obtenido en la Oficina de Minas con mineral de hierro en gránulos e hidrógeno resultó ser de calidad excelente y ha sido convertido en un buen acero de composición variable. E. P. Barrett, bajo cuya dirección se llevó a cabo el trabajo experimental de dicha oficina, cree que la reducción mediante hidrógeno puro utilizando el mineral de hierro en gránulos es un método perfectamente practicable y que el problema crítico, desde el punto de vista comercial, sería el costo del hidrógeno.

1) *Costos comparativos del hierro poroso a base de hidrógeno electrolítico y el lingote de hierro de alto horno de coque.* Aunque los costos probables de un proceso de hierro poroso a base de hidrógeno no se pueden hoy estimar con grado alguno de exactitud, cabe dar, sin embargo, el orden de magnitud de las componentes variables del costo. Los cálculos que aquí se presentan se deben en gran medida a un artículo de C. F. Ramseyer, a la sazón ingeniero metalúrgico de la H. A. Brassert Company,¹⁶ y al trabajo de E. P. Barrett y sus colaboradores en el Centro Experimental de la Oficina de Minas en Minneápolis.¹⁷ Las únicas categorías

Por ejemplo, el Prof. C. S. Smith, Director del Instituto para el Estudio de los Metales de la Universidad de Chicago, nos ha llamado la atención sobre la posibilidad de un proceso electrolítico directo para recuperar el hierro bien sea de un baño de cloruro fundido —utilizándose el cloro directamente para extraer hierro del mineral— o bien de una electrolisis acuosa en la que el mineral se somete a lixiviación con un ácido regenerado electrolíticamente. No examinamos otros métodos porque en relación con ellos disponemos todavía de menos datos que por lo que respecta al método de hidrógeno.

¹⁶ "Sponge Iron—its Possibilities and Limitations", *Iron and Steel Engineer*, vol. 21, julio de 1944. Este artículo fué complementado en las cartas en las que el Sr. Ramseyer tuvo la amabilidad de proporcionarnos información más detallada acerca de los costos estimados comparativos de inversión en fábricas que utilizan el alto horno a base de coque y en las que se usa el método del hidrógeno electrolítico para producir hierro poroso.

¹⁷ Descrito en una conversación con el Sr. Barrett en Minneapolis, 31 de diciembre de 1947.

de costo que se consideran son aquéllas que se supone vienen afectadas por la diferencia en el método de producción.

a) *Cargas fijas.* Estima Ramseyer que el costo de capital por tonelada en el proceso del hidrógeno (incluyendo el equipo para la producción electrolítica de hidrógeno) sería cerca del 45 % mayor que en la fábrica en que se usa el alto horno de coque (incluyendo los hornos de coque). Las cargas fijas sobre la inversión en el alto horno (calculadas sobre el costo de inversión aproximado en 1946) son de unos Dls. 2.60 por tonelada de hierro; el costo estimado en el procedimiento del hidrógeno (45 % más) sería de cerca de Dls. 3.75 por tonelada.

b) *Costos de explotación.* Las necesidades de mano de obra se consideran iguales, en ambos procesos, a pesar de la opinión de Ramseyer según la cual serían más bajas en el método del hidrógeno. Los gastos de conservación en este último se estima que son el 66 % de los correspondientes al alto horno, debido a la baja temperatura a que se trabaja en aquel método y a la relativa simplicidad del equipo. Aproximadamente de Dls. 1.25 por tonelada en el alto horno, en el caso de la fábrica que usa el hidrógeno se estima que son de Dls. 0.85 por tonelada.

c) *Necesidades de energía.* Estimamos que la producción de una tonelada de hierro poroso electrolítico requeriría 2,440 KWH de electricidad. De este total, 2,240 KWH se consumirían en electrolisis para obtener 16,000 pies cúbicos del hidrógeno puro necesario para reducir el mineral de hierro y 200 KWH se emplearían en la producción de calor y para otros usos.¹⁸ Se calcula en 2,627 libras el consumo de carbón coquizable para la producción de una tonelada de lingote de hierro.

d) *Créditos por subproductos.* El alto horno que utiliza coque y el propio horno de coque originan subproductos que son útiles en ulteriores estadios de la manufactura del acero o que pueden venderse. La producción electrolítica de hierro poroso proporcionaría oxígeno, subproducto éste de posible importancia comercial. Hemos estimado en Dls. 3 por tonelada de lingote de hierro el valor de los subproductos procedentes del alto horno de coque, valor aproximado correspondiente a los últimos años. Una fábrica electrolítica cual la que hemos supuesto producirá aproximadamente 1/3 de tonelada de oxígeno por tonelada de hierro poroso producido. El oxígeno ha llegado a ser un valioso agente de la fabricación del acero. El valor comercial del oxígeno producido en tales cantidades puede fijarse en unos Dls. 3 por tonelada. Por consiguiente, el crédito por subproductos resultante para la fábrica de hierro poroso equivale más o menos a Dls. 1.00 por tonelada de hierro poroso.

Estos factores se han reunido en el cuadro 23, en el que se resumen

¹⁸ La cantidad necesaria de hidrógeno procede de Ramseyer, *op. cit.* La cantidad de electricidad necesaria para producir hidrógeno se ha estimado a la vista de *Columbia River and Minor Tributaries, op. cit.*, p. 151.

los precios comparativos del carbón coquizable y de la energía eléctrica que igualarán los costos de producción del hierro en los dos métodos. Este cuadro es de fundamental importancia para el análisis que se presenta en las dos secciones siguientes.¹⁹

2) *Posibilidades de competencia de la energía atómica en los grandes centros de producción del acero.* Las comparaciones de costo que se resumen en el cuadro 23 se basan en cálculos que, para el proceso del hidrógeno, suponen una técnica de producción que todavía hay que perfeccionar. Es claro, por lo tanto, que las cifras sólo se pueden usar para adquirir una idea general de la posible importancia económica de la electricidad atómica con vistas a la producción de acero cuando se utilice en unión del método de reducción por hidrógeno. En las dos secciones que siguen nos proponemos evaluar la probabilidad y explorar la naturaleza de los cambios en las operaciones de la industria del acero en los Estados Unidos que podrían resultar del aprovechamiento de la energía atómica. Evidentemente, este análisis no proporciona base alguna que indique que lleguen a tener realidad los cambios que aparecen posibles.

De acuerdo con el cuadro 23, la energía atómica al más bajo costo concebible no se usaría en la reducción del mineral de hierro excepto cuando el precio del carbón coquizable se encuentre por encima de Dls. 8 la tonelada. La explotación basada en la reducción por hidrógeno usando electricidad cuyo precio se encuentre en nuestro límite estimado de los costos atómicos alcanzables estaría, a este precio del carbón, en el umbral de competencia con el alto horno de coque.

¿Cuál es el resultado de la comparación del precio de Dls. 8 por tonelada corta con el precio del carbón coquizable en el alto horno en los importantes centros siderúrgicos de los Estados Unidos? El precio del carbón oscilaba antes de la guerra entre Dls. 2.50 y Dls. 5.00 por tonelada en varios centros siderúrgicos, muy por debajo, por consiguiente, del precio de Dls. 8 requerido para que las fábricas de hidrógeno con energía eléctrica atómica pudiesen competir con los altos hornos. Sin embargo, los costos de la obtención del carbón y su transporte han experimentado importante alza desde entonces. Dado que nuestros cálculos de costos de la electricidad atómica reflejan los precios de 1946, los precios más razonables del carbón con vistas a la comparación son probablemente los vigentes en dicho año. Sobre esta base, es probable que las fábricas de

¹⁹ Debe hacerse notar una hipótesis básica para el uso analítico del cuadro 23. El coque requerido por tonelada de hierro está basado en la práctica corriente, aunque se prevén futuros progresos en la eficiencia del alto horno por lo que concierne al combustible. Suponemos que puede prescindirse de este aumento de eficiencia porque probablemente quedará equilibrado en lo futuro por un aumento de los precios del coque, completamente al margen de los cambios en el nivel general de los precios, como consecuencia de la disminución de los recursos de hulla.

hidrógeno que utilizasen electricidad atómica no podrían competir todavía con los altos hornos de coque en los centros importantes de producción del acero, puesto que el precio del carbón destinado a coquización oscilaba entre Dls. 4 y 7 por tonelada.

CUADRO 23. Precios comparativos del carbón coquizable y la electricidad que igualarán los costos de producción del hierro en las fábricas dotadas de altos hornos de coque y en las de hierro poroso que usen hidrógeno electrolítico ^a

<i>Si el precio del carbón coquizable es ^b (Dls. por tonelada corta):</i>	<i>La tarifa de electricidad que igualará los costos de producción es ^b (milésimos de dólar por KWH):</i>
4	1.0
6	2.1
8	3.2
10	4.3
12	5.3
14	6.4
16	7.5
18	8.6
20	9.6

^a Dejando de lado las cantidades comunes a uno y otro caso, suponemos que para obtener una tonelada corta de hierro se requieren (debido a la escasísima aproximación de este cálculo prescindimos, para simplificar, de la pequeña diferencia de contenido de hierro existente entre el hierro poroso y el lingote de hierro): para el alto horno de coque, 2,627 libras de carbón coquizable, gastos fijos a razón de Dls. 2.60 y de reparación y conservación a Dls. 1.25; para la fábrica de hierro poroso electrolítico, 2,440 KWH de electricidad, gastos fijos a razón de Dls. 3.75 y de reparación y conservación a Dls. 0.85.

^b El crédito por subproductos es de Dls. 3.00 por tonelada corta de hierro en el método del alto horno y Dls. 1.00 en el proceso electrolítico de obtención del hierro poroso. Para simplificar, prescindimos del cambio en el valor de los subproductos que, sin duda alguna, acompañaría al cambio en el precio del carbón coquizable.

Si los precios de esta clase de carbón se aproximarán a los Dls. 7 por tonelada —por ejemplo, como en el área Chicago-Gary en 1946—, la electricidad atómica sería apenas inferior al punto de competencia. Los precios del carbón han aumentado, naturalmente, aun más desde 1946; en 1947 eran de unos Dls. 8 por tonelada en Chicago-Gary y otros centros siderúrgicos. Pero es de presumir que también los costos atómicos se verían afectados por el aumento de precios durante este período y no está claro qué significado hay que atribuir al aumento de los costos del carbón que observamos entre estos dos años.

3) *La posibilidad de la fundición del hierro en nuevos sitios.* Una comparación del costo entre el método del hidrógeno y el del alto horno en los centros de producción de acero ya existentes no basta en realidad para determinar el valor económico relativo de uno y otro. Conforme indicamos antes, el peso del carbón necesario para la fundición del hierro

influye sobre la ubicación de los altos hornos y es de esperar que estarán situados más favorablemente con respecto al carbón que en otros lugares posibles. Además, en el proceso del alto horno de coque se consiguen economías en el combustible utilizando gas subproducto del alto horno y del horno de coque en estadios posteriores de producción y utilizando en el horno de aceración el lingote de hierro en estado líquido. Estas economías constituyen un factor físico fundamental que conduce a situar los altos hornos, las fábricas de coque, los hornos de aceración y los trenes de laminación dentro de los límites de una sola planta.

Los factores determinantes de la ubicación asociados al proceso del hidrógeno serían sin duda alguna diferentes. Si está basado en la electricidad atómica, el peso del combustible no influiría ya en la localización de las fábricas de reducción. En lo que concierne a las materias primas, el mineral de hierro pasaría a ser, por lo tanto, el factor más importante en este aspecto. Dado que el proceso del hidrógeno no produciría gran volumen de gases residuales calientes, el horno de hierro y el de aceración podrían separarse en este proceso sin notable pérdida de economía. El que estas dos fases de la fabricación se encontrasen situadas o no una junto a otra, sería principalmente mera cuestión de costos comparativos del transporte del hierro poroso y de los lingotes de acero. Así, al contrario de lo que ocurre en las plantas siderúrgicas modernas, una industria del acero basada en fábricas de reducción por hidrógeno alimentadas por la energía atómica como principal fuente de metal, podría desintegrarse parcialmente, quedando parte del proceso situado junto al mineral y las restantes bases situadas en el mercado.²⁰

En esas últimas fases estarían el horno de aceración y los trenes de laminación. La integración de estas dos etapas se debe a economías de transporte, economías internas de explotación y una más barata utilización de la chatarra que se produce en los trenes de laminación. Se puede determinar con mayor eficiencia el programa de fundición si se conoce el programa de laminación. De acuerdo con esto, la integración de las fábricas de acero y las de laminación en un mismo grupo hace innecesario para unas y otras el mantenimiento de grandes existencias de lingote. La integración elimina también el costo del envío de la chatarra de los trenes de laminación a las fábricas de acero.

²⁰ Otra posibilidad es la de situar la fábrica en los centros de energía hidroeléctrica barata, pero esto no parece probable, a menos que el mineral o el mercado se encuentren en las cercanías, puesto que las necesidades de energía por unidad de producto no son lo bastante grandes para justificar un excesivo transporte extra con vistas a aprovecharse de la energía a bajo costo. Por ejemplo, una ventaja de costo, pongamos, de un milésimo de dólar por KWH, representa una disminución de Dls. 2.44 por tonelada de hierro. Si las tarifas de transporte son de un centavo de dólar por tonelada-milla, dos toneladas de mineral de hierro se podrían enviar a una distancia adicional no mayor de 120 millas para sacar partido de la electricidad a costo más bajo.

Examinemos, por lo tanto, la posición de competencia de la electricidad atómica en la producción de acero bajo la hipótesis de que el proceso de hidrógeno se emplea en el sitio en que se encuentra el mineral, enviándose luego el hierro a otra parte para su conversión en acero y para la laminación. A modo de ejemplo ilustrativo, tomemos los yacimientos de mineral de hierro del norte de Minnesota, que proporcionan la mayor parte del mineral que consume la industria norteamericana del acero, y comparemos los costos de producción del hierro allí con los costos correspondientes a las regiones Chicago-Gary y Pittsburgh. Indicamos a continuación los puntos esenciales de esta comparación.

a) De acuerdo con el cuadro 23, el método del hidrógeno basado en la electricidad atómica será una fuente más barata de hierro en un lugar cualquiera de producción sólo si el costo del carbón es igual o superior a unos Dls. 8 por tonelada. Estimamos que el costo del carbón en las minas de hierro del norte de Minnesota era de cerca de Dls. 8 por tonelada en 1946 (el precio en Duluth, más los costos estimados de transporte ferroviario hasta las minas de hierro).²¹ Partiendo de esta base, llegamos a la conclusión de que la electricidad atómica podría encontrarse en esta región en el límite de competencia con los altos hornos. Además, dado que aquí suponemos que en esa región la producción no iría más allá del estadio de reducción del hierro, el alto horno en el norte de Minnesota no podría compararse tan favorablemente con el método del hidrógeno como indica el cuadro 23, a causa de verse así incapacitado para sacar todo el partido de las economías en subproductos que hace posible su integración con fases posteriores de la manufactura del acero.

b) ¿Cuál sería el resultado de comparar el costo de entrega del hierro producido con el método de hidrógeno y la electricidad atómica en el norte de Minnesota con el costo de producción del hierro en Chicago-Gary o Pittsburgh? El costo del carbón coquizable en 1946 era en Pittsburgh de unos Dls. 4.80 por tonelada y de cerca de Dls. 6.76 en Chicago-Gary.²² Pero para comparar los costos en el norte de Minnesota y los correspondientes a estas dos últimas localidades, deben incluirse los costos de transporte del mineral de hierro desde las minas de Minnesota. El

²¹ El precio en Duluth del carbón para coque era en 1946 de Dls. 6.86 por tonelada. (*Minerals Yearbook*, 1946, Departamento del Interior, Oficina de Minas, Washington, 1948, p. 421. Véase también la nota siguiente). El costo de transportar el carbón por ferrocarril a las regiones productoras de hierro sería más o menos de Dls. 1.00 por tonelada, en el supuesto de que se aplicara al carbón la misma tarifa que al mineral de hierro que ahora se envía en sentido opuesto. (Se toman las tarifas del mineral de I. C. C. Ex parte n° 162, n° 148, de los *I. C. C. Reports*, vol. 266, sección sobre "Increased Railway Rates, Fares, and Charges", Washington, 1946).

²² Basados en promedios, relativos a todo el estado, del costo del carbón para coque en los hornos de coque en Pennsylvania, Illinois e Indiana (*Minerals Yearbook*, 1946, op. cit., p. 421). Suponemos que estas cifras se refieren, principalmente, a los centros más importantes de producción de acero en cada estado.

costo de transportar el mineral a Pittsburgh era de Dls. 6.00 aproximadamente y el de transportarlo a Chicago-Gary, de unos Dls. 3.50 por tonelada de hierro.²³ Si se fundiera el mineral en Minnesota, las necesidades de transporte serían menores, puesto que se requieren cerca de 1.85 toneladas de mineral por tonelada de lingote de hierro. Si, además, se aplicaran las mismas tarifas de transporte al hierro poroso que al mineral de hierro, el norte de Minnesota gozaría de una ventaja en el costo del transporte de Dls. 1.60 por tonelada de hierro en Chicago-Gary y Dls. 2.75 en Pittsburgh. Este hecho se podría expresar de la siguiente manera: comparando con el proceso de hidrógeno puesto en marcha en el norte de Minnesota, el costo equivalente del carbón coquizable en Chicago-Gary sería de Dls. 6.75 (precio de dicho carbón en 1946), más Dls. 1.60 (desventaja en el costo del transporte del hierro), es decir, Dls. 8.35 por tonelada; y en Pittsburgh el costo equivalente sería de Dls. 4.80 (precio del carbón en 1946), más Dls. 2.75 (desventaja en el costo del transporte), es decir, Dls. 7.55 por tonelada.²⁴

Estos cálculos respaldarían el punto de vista según el cual las fábricas de reducción del hierro situadas en el norte de Minnesota que adoptasen el proceso de hidrógeno y la electricidad atómica podrían ser una fuente de suministro de hierro a más bajo costo para el mercado de Chicago-Gary que los altos hornos situados en esta última área, mientras que, en comparación con Pittsburgh, las fábricas de reducción en el norte de Minnesota pudieran resultar una fuente de suministro a un costo ligeramente mayor. Sin embargo, las comparaciones precisas del costo son de pequeña importancia. La consideración que realmente importa es que la ubicación de la fundición del hierro en el norte de Minnesota, podría llevarse dentro de los límites de lo económicamente factible mediante la combinación de dos innovaciones, la electricidad atómica y la reducción por hidrógeno, cada una de las cuales apoya a la otra para su adopción en la producción de acero. Nos hemos valido en estos cálculos de Pittsburgh y Chicago-Gary porque proporcionan puntos convenientes para la comparaciones con la industria actual del acero. De hecho, si la reducción del hierro tuviese lugar en Minnesota, no habría razón alguna que compeliere a que la producción y laminación del acero se situase en Pittsburgh o en Chicago, salvo la de satisfacer a los mercados del acero de estas regiones. Para mercados más distantes, digamos Nueva York o Boston, sería probablemente más económico enviar directamente el hierro

²³ "The Western Steel Industry", *Utah Economic and Business Review*, vol. 3, junio de 1944, p. 19. Los costos en 1946 superarán estas cifras.

²⁴ Esto no significa que los altos hornos en el norte de Minnesota, utilizando carbón para coque cuyo precio fuera inferior a estos costos equivalentes podría competir con Chicago-Gary o Pittsburgh, porque si expidiesen el lingote de hierro perderían parte de las ventajas que ofrecen los subproductos en virtud de la integración.

poroso a estos puntos para su conversión allí en acero que remitir los productos del mismo. La ubicación intermedia para fabricar productos de acero está justificada hoy solamente como uno de varios estadios en una operación integrada que consume enormes cantidades de carbón.

No hay que olvidar las hipótesis en que se apoya nuestra conclusión exploratoria referente al cambio de localización. En primer lugar, tenemos la hipótesis según la cual se podría proporcionar la electricidad atómica a un precio tan bajo como el de 3.2 milésimos de dólar por KWH (precios de 1946). Consideramos que este precio es un posible costo realizable en el futuro, pero en modo alguno existe la certeza de que así sea. En segundo lugar, nos hemos valido de la hipótesis de que el hierro esponja se podría transportar al mismo costo que el mineral de hierro. El transporte en cuestión consiste principalmente en el envío a través de los Grandes Lagos y se ha llevado a la práctica un elaborado sistema para la manipulación y transporte a bajo costo del mineral de hierro a lo largo de esta ruta. No existe base alguna para predecir que los costos de la manipulación y transporte del hierro poroso serían precisamente tan bajos. Por otra parte, bastaría que fuesen el doble de la tarifa correspondiente al mineral de hierro para que la ventaja en el costo de transporte resultante de la reducción del mineral de hierro en Minnesota quedase por completo anulada, con lo cual las comparaciones de costo que hemos indicado dejarían evidentemente de ser válidas.

4) *Algunas observaciones generales sobre los factores locacionales en la reducción por hidrógeno que utiliza la energía atómica.* La influencia de los fletes relativos correspondientes al mineral de hierro, el hierro en lingotes, los lingotes de acero y el acero acabado sobre los lugares de producción sería de la mayor importancia en una industria del acero basada en la energía atómica y en la reducción por hidrógeno. Si las tarifas de transporte que corresponden a los resultados de cada estadio de la producción fuesen idénticas, la localidad que presentara el costo mínimo por tonelada-milla se encontraría, evidentemente, junto a los yacimientos de mineral de hierro. Sin embargo, en Estados Unidos aumentan generalmente dichas tarifas con el valor del producto. Así, la que corresponde al mineral de hierro es por lo general más baja que para la fundición y ésta a su vez es casi siempre menor que la tarifa relativa al lingote de acero o al acero semiacabado, tarifa que a su vez es menor que la que corresponde al acero laminado. Por lo tanto, la situación correspondiente al costo mínimo es función de los portes y de la ventaja en el peso que supone el transportar el hierro en las diferentes fases de su fabricación. La situación resulta también complicada en Estados Unidos por el gran uso en la producción de acero tanto de la chatarra comprada como de la chatarra circulante. En consecuencia, es necesario transportar me-

nos mineral de hierro y hierro en lingote por tonelada de acero que en una industria basada solamente en el hierro virgen y la chatarra circulante.

No hemos explorado la cuestión de los fletes con suficiente detalle para que podamos saber con certeza qué distribución locacional de la producción de acero podría resultar cuando ésta se basase en la electricidad atómica y en la reducción por hidrógeno. Creemos que la posibilidad más razonable es la de que las tarifas relativas de transporte favorecerían la ubicación de la fábrica de laminación en el mercado y que, por consiguiente, la fábrica de lingotes se encontraría también situada en el mercado, debido a las ventajas en el programa de operaciones y a la economía en el movimiento de la chatarra. Esto dejaría limitada la factoría de reducción a una sola unidad situada en las regiones en que se extrae el mineral de hierro o a una unidad combinada con las fábricas de acero e instalaciones de laminación situadas todas en el mercado, lo que dependería de los costos relativos de transporte del mineral de hierro y del hierro poroso. Tanto en un caso como en otro habría un desplazamiento respecto a los actuales centros.

Antes que un cambio de localización, bien sea hacia las materias primas o hacia los mercados, hay la posibilidad de que unos y otros presencien el desarrollo de la producción siderúrgica sin tener éxito comercial la reducción por hidrógeno a base de energía atómica, puesto que el tamaño de un solo horno para la reducción por hidrógeno puede ser pequeño: 100 toneladas por día, en vez de los altos hornos de 1,000 a 1,500 toneladas diarias. También las dimensiones de los hornos eléctricos utilizados para convertir el hierro en acero pueden ser pequeñas sin que ocurra pérdida importante alguna de eficiencia. Es posible, por lo tanto, que la producción siderúrgica por el proceso de baja temperatura pueda ser llevado a cabo por gran número de productores relativamente pequeños.

Muchos yacimientos de mineral de hierro formados solamente por unos cuantos millones de toneladas, por ejemplo, se podrían explotar con provecho mediante la reducción por hidrógeno, con lo cual quedaría sentada la base para una industria del acero en pequeña escala que funcionaría eléctricamente. La existencia de una producción del metal primario en estas proporciones estimularía, sin duda alguna, el desarrollo de la laminación, el vaciado y otras operaciones, todas en pequeña escala.²⁵ El método del vaciado continuo de formas de acero, próximo ya a la explotación comercial, constituye una indicación de lo que cabe hacer para transformar la industria del acero de un medio para la conversión de materias primas en millones de toneladas, usando enormes hornos e

²⁵ Acerca de la cuestión del equipo en pequeña escala para el acabado, véase la sección B.3.b. de este capítulo.

instalaciones de laminación dependientes de unos pocos yacimientos gigantescos de carbón y mineral de hierro, en una industria en la cual se pueden emplear, con elevado rendimiento, aparatos relativamente pequeños para la producción de algunas formas básicas, alimentados por yacimientos pequeños y muy dispersos.

Existe así implícita en el proceso del hierro poroso la posibilidad de una producción local de dicho hierro, en escala relativamente pequeña, que abastecería a las fundiciones locales y a los hornos eléctricos de aceración y que podría competir por lo menos en los mercados locales. El norte de Minnesota, con sus grandes yacimientos de mineral, y otras regiones productoras del mismo podrían, sobre esta base, fabricar hierro y acero para satisfacer las demandas dentro de un radio moderado; por otra parte, los mercados en ciertas partes del país pudieran encontrar ventajoso importar mineral de hierro y establecer una producción siderúrgica local.²⁶ Esto abre las puertas en escala considerable a la posibilidad a la larga de una descentralización de la producción siderúrgica en Estados Unidos.

C) EL EMPLEO DE UNA NUEVA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN SIDERÚRGICA EN ESTADOS UNIDOS Y EN OTROS PAÍSES

El estudio antecedente revela la posibilidad de dos efectos principales de la energía atómica en la industria del acero de Estados Unidos. El primero es que, como resultado de disponerse de electricidad atómica a bajo costo, la producción del acero sobre la base de chatarra con el horno eléctrico podría llegar a tener importancia en ciertos grandes centros de consumo del mismo que producen hoy mucho menos acero del que consumen, o que a menudo no producen acero ninguno. El segundo es que el uso de la energía atómica junto con el proceso de reducción por hidrógeno del mineral de hierro podría llevar la reducción a los sitios en que se encuentra el mineral. Ambos efectos son importantes, sobre todo porque suponen el uso de unidades en menor escala y un mayor grado de descentralización geográfica en la producción de acero que lo que es hoy común en las naciones industrializadas. Ni en uno ni en otro caso parecen probables en la realidad grandes reducciones del costo como resultado de este cambio. La verdad es que se estimó que la nueva tecnología y las nuevas ubicaciones se encuentran, en el más favorable supuesto tocante a los costos atómicos, virtualmente en un plan de igualdad con los métodos y localizaciones actuales en lo que concierne al costo.

²⁶ En los puntos situados en la costa, muy bien se podría importar mineral extranjero, particularmente el de la América del Sur y la América Central [*sic*]. Es ésta una posibilidad muy importante dado el agotamiento que amenaza al mineral de hierro de alto grado de Mesabi.

1. La posible importancia de las operaciones con horno eléctrico de aceración

El convertidor eléctrico utilizado de la manera que hemos supuesto en nuestro análisis parece poseer una importancia limitada a causa de su dependencia del suministro de chatarra. Las limitaciones generales en lo que atañe a éste y la competencia que por él ejercen los productores de acero acreditados, fijarían un margen relativamente pequeño a la producción de acero basada por completo en chatarra cuando se la compara con la producción total de acero en Estados Unidos. En cuanto a otros países, este método tendría importancia sólo para aquéllos que se encuentran ya muy industrializados y producen anualmente grandes cantidades de chatarra. Países como la India, el Brasil, China, etc., en los que la industrialización ha hecho únicamente pequeños progresos, no podrían desarrollar evidentemente, sobre esta base, una industria del acero; y ciertos países, como el Japón e Italia, podrían resentirse de la disminución de la cantidad de chatarra norteamericana disponible para la exportación.

2. La posible importancia de la reducción por hidrógeno

a) EN ESTADOS UNIDOS. La adopción del método del hidrógeno en los Estados Unidos dependerá, en primer lugar, de la construcción de un horno práctico de hidrógeno. Se han dado ya los primeros pasos hacia ello. Sin embargo, habida cuenta de las grandes inversiones en la industria siderúrgica y de la economía de costo relativamente pequeña que permite el nuevo método, parece poco probable que exista estímulo suficiente a corto plazo para la investigación y desarrollo necesarios para la introducción de métodos comerciales. Pero a medida que aumenta la capacidad o que se reemplaza la capacidad antigua, la combinación del costo más elevado del carbón coquizable y el agotamiento de las grandes reservas de mineral de hierro de alto grado acentuarán la atracción ejercida por el proceso del hidrógeno.

El aumento de precio del carbón, especialmente en los grados utilizados para la producción de coque, que se observa en los últimos años, se debe al agotamiento gradual de las minas más productivas y a las mejoras (especialmente en la última década) que han experimentado los salarios y las prestaciones sociales de los mineros. Parece que estos factores continuarán influyendo y aumentarán, probablemente, aun más el costo relativo del carbón comparado con el de la energía atómica.²⁷ Otro factor importante es el agotamiento previsible en las próximas dos o tres décadas del mineral de alto grado en los grandes yacimientos de Mesabi

²⁷ Cf. Capítulo II, B.2 y 3.

si la producción de acero se mantiene cerca de los últimos niveles. Una consecuencia de esto puede ser el aumento en importancia de yacimientos de mineral de hierro relativamente pequeños existentes en varias regiones de este país, los cuales no se han explotado debido tanto a su pequeñez como a la distancia a que se encuentran del carbón coquizable.

El método del hidrógeno es ideal para la explotación de estos pequeños yacimientos de mineral, puesto que las unidades de producción basadas en el hidrógeno podrían ser solamente del 10 % (o menos) del tamaño de los altos hornos que emplean el coque. Además, los hornos eléctricos en pequeña escala para la conversión del hierro en acero son perfectamente posibles. En estas circunstancias, la instalación aislada de los trenes de laminación, si conserva su tamaño actual, representaría un desembolso de capital mucho mayor que el de las fábricas siderúrgicas y trabajaría, probablemente, para muchas fábricas siderúrgicas por separado. Este tipo de organización, nada singular en los primeros tiempos de la industria del acero, es paralelo a la organización de las operaciones en un gran conjunto tal como la encontramos en las industrias de la aviación y el automóvil, en las que el productor final es, con frecuencia, mucho mayor que aquéllos que le suministran los elementos que utiliza. Por otra parte, el éxito que ha acompañado a la experimentación reciente con el proceso del vaciado continuo, promete que los métodos de laminación y acabado en pequeña escala serán un hecho en las próximas décadas, si bien existen serias dudas por lo que toca a su capacidad para la producción de grandes formas en pequeñas fábricas. Es posible que si se cuenta con energía atómica comercial a bajo costo, la tendencia en la industria del acero hacia equipos, fábricas y organismos de explotación más grandes resulte detenida y aun quizá invertida. De ser factible la explotación de yacimientos de mineral relativamente pequeños dispersos por todo el país, ello tendería a provocar una mayor difusión geográfica de la producción de acero que la que hoy es posible. Puesto que las operaciones se efectuarán en menor escala, un área de mercado más pequeña podría absorber la producción de una única fábrica de acero. En consecuencia, el mercado para muchos productos del acero y la base de los mismos, el mineral de hierro, podrían acercarse mutuamente y la característica dominante de las operaciones de la industria del acero en el futuro puede ser la de operaciones integradas en una escala considerablemente menor que la que hoy se observa.

b) EN OTROS PAÍSES. No hemos tenido tiempo de intentar un análisis sistemático de la posible importancia que la reducción por hidrógeno utilizando la energía atómica podría tener para otros países. Sin embargo, es ésta una cuestión de máxima importancia, dado que la producción de acero, elemento vital para la moderna industrialización, requiere energía en grandes cantidades. Es particularmente importante saber si aquellos

países en los que la producción de acero pudiera en otras circunstancias encontrarse fuertemente limitada debido a la falta de combustibles corrientes (principalmente carbón coquizable), podrán rebasar estos límites con el uso de la energía atómica. El análisis de los costos comparativos de producción del hierro con la reducción por hidrógeno basada en la energía atómica y con el alto horno de coque en los Estados Unidos sugiere que, efectivamente, la energía atómica podría ser una de las llaves que abriese el paso al aumento de producción de acero allí donde son limitados los recursos en carbón susceptible de ser transformados en coque.

¿Qué países se beneficiarían de la reducción por hidrógeno? Aunque naciones que cuentan con grandes industrias del acero ya establecidas pudieran encontrar inaprovechable el cambio en su primera época por las mismas razones que en los Estados Unidos, la tendencia ascendente de los costos del carbón, podría, con el tiempo, favorecer la introducción de dicho proceso basado en energía atómica. Ciertos países como, por ejemplo, la Gran Bretaña, podrían aplicar, en efecto, la energía atómica a la producción de acero antes que la industria norteamericana debido a que sus reservas de carbón coquizable son más limitadas.

Pero es muy posible que a la larga los efectos más revolucionarios de la reducción por hidrógeno y energía atómica los experimenten aquellos países que hoy producen acero en pequeñas cantidades o no lo producen en absoluto. El progreso de estos países requerirá grandes cantidades de acero para la construcción de fábricas, máquinas, medios de transporte, etc. Sin intentar con ello responder definitivamente a la pregunta de cuál debería ser el incremento de la producción mundial de acero para alcanzar un mínimo nivel de vida aceptable en todos los países, podemos adoptar ciertos objetivos expresados en términos de libras de acero consumidas por habitante y por año que, conforme sabemos, está aproximadamente correlacionado con los varios niveles de industrialización.

Es patente en el cuadro 24 que el consumo de acero por habitante varía enormemente de país a país.²⁸ Estados Unidos, por ejemplo, consume aproximadamente siete veces el promedio mundial de acero por habitante y cerca de 150 veces la cantidad correspondiente a la India. Las metas que indicamos sirven tan sólo para determinar el orden de magnitud aproximado de la demanda mundial de acero para diferentes

²⁸ Para simplificar, se sustituye el consumo de acero *per capita* por la producción de acero *per capita*. Por lo que se refiere a Europa en conjunto, la producción de acero *per capita* oscila entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ más que el consumo real, dado que Europa es una gran región exportadora de acero. En particular, la producción de éste en las naciones del Benelux está orientada principalmente a la exportación. La producción correspondiente a los Estados Unidos es superior en cerca del 10 % al consumo. Para las grandes áreas importadoras (Asia, África y América del Sur) la producción de acero por habitante es inferior al consumo *per capita*.

CUADRO 24. Estimación de las necesidades mundiales de acero comparadas con la producción máxima

Continente	Población total (millones) ^a	Producción anual máxima de acero (millones de toneladas cortas) ^b	Producción máxima per capita (libras)	Necesidades totales de acero si ningún país consume menos de:			
				100 libras per capita	200 libras per capita	300 libras per capita	400 libras per capita
(millones de toneladas cortas)							
Asia	1.154	12.2	21.1	62.7	116.7	173.2	230.8
China ^c	450	1.6	7.1	22.5	45.0	67.5	90.0
India	382	1.7	8.9	19.1 ^d	38.2	57.3	76.4
Japón	73	8.6	235.6	8.6	8.6	11.0	14.6
Demás países ...	249	0.3	2.4	12.5	24.9	37.4	49.8
Oceanía	11	1.9	345.4	1.9	1.9	1.9	2.2
África	158	0.7	8.9	7.9	15.8	23.7	31.6
América del Sur ..	88	0.5	11.4	4.4	8.8	13.2	17.6
Brasil	41	0.5	24.4	2.0	4.1	6.2	8.2
Demás países ...	47	—	—	2.4	4.7	7.0	9.4
América del Norte	190	93.2	981.1	95.0	97.1	99.2	101.4
E.U.A.	136	89.6	1.317.6	89.6	89.6	89.6	89.6
Canadá	11	3.2	581.8	3.2	3.2	3.2	3.2
México	20	0.4	40.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Demás países ...	23	—	—	1.2	2.3	3.4	4.6
Europa (excepto la URSS) ^e	380	69.9	367.9	69.9	69.9	69.9	76.0
URSS	194 ^f	22.6	231.9	22.6	22.6	22.6	22.6
TOTALES MUNDIALES							
Población	2.175	201	185	264.4	332.8	410.2	498.4
Producción de ac- ero (millones de toneladas cortas)							
Producción de ac- ero per capita (li- bras)				243	306	377	458

^a Población correspondiente al 31 de diciembre de 1939, excepto para las cifras relativas a los Estados Unidos, que se refieren a 1943 (*Statistical Yearbook of the League of Nations, 1942-44*, Ginebra, 1945, pp. 12-23).

^b Producción de acero bruto, incluyendo tanto los lingotes como los productos del vaciado directo. Estas cifras se han tomado del *Statistical Yearbook, Naciones Unidas, Lake Success, Nueva York, 1949*, pp. 238-239, y del *Annual Statistical Report, 1947*, Instituto Americano del Hierro y del Acero, Nueva York, 1948, pp. 186-187.

^c Los datos correspondientes a China incluyen Manchuria.

^d El Jefe de la Misión India de Abastecimiento en Estados Unidos, A. R. Palit, estimó que si la India tuviera que aumentar su nivel de vida a un décimo del nivel norteamericano, las necesidades anuales de acero en la India serían de 18 millones de toneladas (*Wall Street Journal*, 20 de octubre de 1948, p. 1, col. 6). Estas cifras concuerdan muy de cerca con nuestros cálculos cuando se tiene en cuenta la diferencia de población. El Gobierno de la India, excluyendo el Pakistán, cuenta hoy con 350.000.000 de súbditos, según el Sr. Palit. Una vez ajustada con vistas a la comparación, la cifra a que llegamos nosotros sería 17.5 millones de toneladas, que es del mismo orden que los 18 millones de toneladas que estima el Sr. Palit. La significación de la concordancia de estas cifras reside en el hecho de que los propios dirigentes de las grandes regiones insuficientemente desarrolladas consideran que la relación entre la producción de acero y el nivel de vida es lineal, por lo menos en la primera parte de la curva correspondiente.

^e Algunos países europeos cuentan con una producción per capita inferior a las 100 libras, pero hemos prescindido de este hecho en nuestros cálculos, en los que se considera a Europa como una unidad.

^f Población correspondiente a diciembre de 1939, incluyendo la población de territorios y países incorporados a la U.R.S.S., de acuerdo con diversas leyes soviéticas, entre septiembre de 1939 y agosto de 1941.

niveles de industrialización. El consumo correspondiente a cada nivel sería el siguiente (expresado en consumo de lingote de acero en libras por año y por habitante):

<i>Libras por habitante</i>	<i>Nivel aproximado de industrialización</i>
100	España, Hungría
200	Austria, la U.R.S.S. antes de la guerra, el Japón
300	Checoslovaquia antes de la guerra
400	Suecia, Francia
600	Reino Unido, Alemania antes de la guerra
1.200	Estados Unidos, en período de prosperidad.

Las necesidades de acero indicadas en el cuadro 24 se han calculado para los cuatro primeros niveles de consumo sobre la base de los censos de población para 1940 y en la hipótesis de que ningún país produce por debajo del nivel supuesto. En consecuencia, el promedio para el consumo mundial será siempre mayor que el nivel mínimo que se persigue, dado que de cada país que lo rebasa se toma su producción máxima.

Dos casos aclararán ahora lo que encierra el cuadro 24: la India y el Brasil. Ambos países poseen vastas reservas de mineral de hierro (actuales y potenciales). Las de la India se estiman en 14,000 millones de toneladas y las del Brasil en 15,000 millones, cantidades éstas que son del mismo orden que los 10,000 millones de toneladas de mineral de bajo grado que encontramos tanto en la Gran Bretaña como en Francia. Sin embargo, la producción de acero en el Brasil ha sido de sólo unas 500,000 toneladas y en la India se ha aproximado a 1.5 millones de toneladas, mientras que la producción máxima en Gran Bretaña fué de 15 millones y en Francia 10.

Si la India y el Brasil trataran de aumentar su nivel de producción de acero por habitante, ¿serían adecuados sus recursos en combustible? Para que la India produjese 100 libras de acero por año y por habitante [el nivel aproximado de producción de acero antes de la guerra en España y Hungría, pero muy bajo en comparación con el consumo en la Gran Bretaña (600 libras), Francia (400 libras), o los Estados Unidos (1,200 libras)], sería necesaria una producción anual de acero de unos 20 millones de toneladas, esto es, trece veces su producción máxima. Sin embargo, en 1937 se estimó que las reservas de carbón coquizable en la India durarían 60 años al ritmo de consumo que entonces prevalecía. Si esta evaluación es exacta, dichas reservas no podrían soportar el incremento así calculado de la producción de acero. En el Brasil el caso es todavía más extremo; por lo que se sabe, dicho país cuenta con muy poco carbón coquizable, y todo de baja calidad.

Claro está que el hecho de que se pueda disponer de cantidades adecuadas de combustible no garantizaría, por sí mismo, el aumento de la producción del acero en éstos o en otros países económicamente insuficientemente desarrollados, pero cabe afirmar con certeza que la falta de cantidades adecuadas de combustible limitaría dicho aumento, aunque los otros factores fuesen favorables. La energía atómica, junto con la reducción por hidrógeno, podría ser en este caso la solución del problema planteado por la escasez de carbón para coque.

Pero la energía atómica no es la única solución. Países cuyo suministro de carbón nacional es limitado pueden comprar carbón al extranjero, aunque podría existir una natural repugnancia a basar una industria tan vital como la siderúrgica en el suministro exterior del carbón. Creemos que la importación de éste en las cantidades requeridas para mantener un nivel razonable de producción de acero en la India, el Brasil y otras naciones poco desarrolladas podría conducirlos, en el mejor de los casos, a tener que comprar el carbón en condiciones comerciales muy desfavorables y podrían encontrarse, en el peor de los casos, con límites absolutos impuestos a la cantidad de carbón, quizá en un próximo futuro, por los países que lo exportan. Ciertamente, es éste un punto a debatir.

Por otra parte, la hulla no es la única forma en que el carbón pudiera usarse para reducir el mineral de hierro. Combustibles que se encuentran tan dispersos como la turba, el lignito, el carbón semibituminoso y los residuos vegetales podrían utilizarse en procedimientos basados en los procesos carbónicos del hierro poroso. Tales procesos dan lugar, al parecer, a costos más elevados de mano de obra que el basado en el hidrógeno, pero esto no debiera tener importancia para los países en los que la mano de obra es relativamente barata.

Dado que existen otras posibilidades para incrementar la producción de acero en los países en los que el carbón para coque escasea, pero el mineral de hierro abunda, no podemos afirmar con seguridad que la energía atómica constituirá un elemento decisivo para permitir que la producción de acero llegue a niveles más elevados o se realice a costos más bajos que los que pudieran resultar de otra manera. Lo que sí podemos afirmar es que una metalurgia independiente del carbón para coque en yacimientos naturales permitirá alcanzar los objetivos mínimos fijados. Considerando los costos favorables del método del hidrógeno que utilice la energía atómica, es razonable creer que la nueva metalurgia nacida de la energía atómica pudiera ofrecer una de las más prometedoras alternativas para el desarrollo de la producción de acero en las áreas poco desarrolladas del mundo.

La dependencia mutua entre las industrias del combustible y del ferrocarril en la vida económica moderna significa que el transporte por vía férrea puede verse afectado vitalmente por el desarrollo de la energía atómica comercial. Esta interdependencia queda fuertemente de manifiesto en las estadísticas relativas a una y otra industria en Estados Unidos.¹ En 1945 los ferrocarriles consumieron para fuerza motriz el equivalente de 159 millones de toneladas de carbón bituminoso (de las cuales 115 millones lo fueron en forma de carbón y el resto en forma de otros combustibles y electricidad), cantidad a comparar con una producción total en dicho país de unos 575 millones de toneladas de carbón bituminoso.² Además, la significación de los ferrocarriles en cuanto consumidores de carbón y otros combustibles no es más notoria que la importancia relativa del transporte de carbón como fuente de ingresos para los propios ferrocarriles. En 1945 los ingresos procedentes del transporte del carbón y el coque ascendieron aproximadamente a Dls. 1,000 millones, de un total de ingresos por transporte de carga de unos Dls. 7,000 millones, mientras que el tonelaje de carbón y coque transportados constituyó aproximadamente el 33 % del tonelaje total transportado por los ferrocarriles norteamericanos.³

La energía atómica podría afectar de manera significativa a la industria ferroviaria 1) proporcionando una fuente de energía motriz nueva y más barata ó 2) sustituyendo al carbón en algunas industrias, con lo que reduciría, en consecuencia, los ingresos procedentes de esta importante clase de transporte, cuando no de ambas maneras a la vez. En este capítulo se estudia, sobre todo, la primera de estas dos posibilidades. No cabe considerar satisfactoriamente la segunda cuestión hasta que no se-

¹ Los datos relativos a los ferrocarriles se refieren a los de primera clase, es decir, a aquellas empresas ferroviarias cuyos ingresos anuales sobrepasan Dls. 1.000.000. Los ingresos de explotación de los ferrocarriles de primera clase ascendieron en 1945 al 99 % de los ingresos totales de explotación de los ferrocarriles de vapor (incluyendo sus secciones electrificadas y las que utilizaron locomotoras diesel) en los Estados Unidos (*Statistics of Railways in the U. S., 1945*, Comisión Interestatal de Comercio, Washington, 1947, p. 1).

² Cf. *Ibid.*, p. 66, para el consumo de combustible por los ferrocarriles. Los equivalentes en carbón de otras fuentes de energía se calcularon al parecer sobre la base de la cantidad de carbón que hubiera sido necesaria para que una locomotora de vapor realizara el mismo trabajo. Dado que este tipo de locomotora presenta un rendimiento térmico relativamente bajo, la cantidad así calculada es mayor, por lo general, que la cantidad de carbón requerida en las centrales para producir la electricidad destinada a las locomotoras eléctricas incluídas en estas cifras o el equivalente de carbón en términos de la energía contenida en el aceite utilizado en las locomotoras diesel.

³ *Ibid.*, pp. 43-44.

pamos mucho más acerca de la posible sustitución del carbón por la energía atómica. El futuro del transporte del carbón puede resultar también seriamente afectado por cambios potencialmente importantes en la técnica de la utilización del carbón, cambios en virtud de los cuales el carbón se transformaría en combustibles líquidos y gaseosos, que emplearían probablemente otros medios de transporte en vez de los ferrocarriles. (Véase el capítulo II, B.3.) Por ahora sólo cabe entrever las características generales de estos cambios. De acuerdo con esto, el presente capítulo se refiere a la segunda cuestión sólo cuando ésta entra en el análisis de la energía atómica como fuente de fuerza motriz, es decir, en conexión con el problema de cómo influiría la densidad de tráfico ferroviario en el uso de la electricidad atómica para la electrificación de los ferrocarriles.

La energía atómica, como fuente de energía motriz para los ferrocarriles, podría desarrollarse teóricamente en dos direcciones. Una de ellas sería mediante el perfeccionamiento de un pequeño reactor nuclear que se pudiera adaptar en una locomotora para producir electricidad, la cual se utilizaría para hacer funcionar el motor eléctrico que la impulsaría. Este procedimiento se parecería al de la locomotora eléctrica diesel, o a la proyectada locomotora que utiliza una turbina de gas generado por la combustión del carbón. En todos estos casos, la locomotora llevaría consigo una planta eléctrica completa, más los motores eléctricos destinados a impulsar el tren. La otra manera consistiría en la producción de electricidad en centrales fijas de energía atómica para el suministro de electricidad a las redes ferroviarias electrificadas, de la misma manera que ocurre en la actualidad con la electricidad usual. Por las razones que se indican en el apéndice a este capítulo, es discutible que llegue a ser posible la locomotora atómica. Nuestro análisis de los costos comparativos de los diferentes tipos de energía motriz considera, por lo tanto, la energía atómica sólo en conexión con la electrificación usual de los ferrocarriles.

El objeto de este capítulo, por consiguiente, es considerar la posible repercusión que tendría la electricidad atómica generada en centrales fijas sobre la electrificación de los ferrocarriles en los Estados Unidos y otros países. Evidentemente, no podemos hacer más que bosquejar algunos de los importantes factores que determinarán la aparición de una posible competencia entre la electricidad atómica y otras fuentes de energía motriz. Con vistas a esto hemos reunido, para analizarlos, algunos datos ilustrativos acerca de la economía de diferentes clases de energía motriz para los ferrocarriles.

Dado que no estaba a nuestro alcance emprender un estudio intenso de los costos de las diferentes clases de energía motriz para aquel fin, tuvimos que apoyarnos en el trabajo analítico realizado por otros y especialmente en los estudios (tanto publicados como inéditos) preparados por T. M. C. Martín para la Bonneville Power Administration. Pero aun-

que nuestro análisis cuantitativo de la próxima sección debe mucho a los materiales preparados por el Sr. Martín, debemos hacer notar que hemos modificado sus hipótesis en más de un punto y que nuestras conclusiones no concuerdan necesariamente de modo preciso con sus puntos de vista.

Toda nuestra tarea resultó considerablemente simplificada por el hecho de poder disponer de los estudios de la Bonneville. Sin embargo, el lector debe tener en cuenta que desde el momento que estos estudios se basan en una línea férrea hipotética que opera en un terreno semejante al de ciertas zonas del Pacífico Noroeste, dichos estudios sólo tienen aplicabilidad limitada. En cierta forma, esta dificultad es inevitable. El tema se puede encerrar en límites razonables sólo mediante el planteamiento de una situación hipotética que nos permita centrar nuestra atención en algunas de las importantes variables que influyen en las economías de distintas fuentes de energía motriz.

Conviene, pues, dejar sentado desde el primer momento qué conclusiones creemos que debieran y cuáles no debieran deducirse de nuestro análisis. No creemos que se pueda fallar caso alguno en favor o en contra de la electrificación de un sector particular de línea ferroviaria sobre la base de las cifras que indicamos. Esta cuestión sólo se puede resolver mediante un detallado estudio de ingeniería. Sin embargo, sí creemos que en las páginas que siguen hemos examinado suficientemente las importantes variables que afectan a la economía de la fuerza motriz de los ferrocarriles para poder delimitar con cierta amplitud las clases de regiones en que estaría justificada la electrificación basada en la energía atómica y las clases de regiones respecto de las cuales no se puede recomendar la electrificación. Esta es la tarea que nos hemos fijado. Las variables importantes en la economía de la energía motriz ferroviaria se estudian en la sección siguiente. En la última sección se examinan las consecuencias de la energía atómica para la electrificación de los ferrocarriles en el futuro.

A) LOS COSTOS COMPARATIVOS DE DIFERENTES FORMAS DE ENERGÍA MOTRIZ PARA LOS FERROCARRILES

1. El costo de la fuerza motriz en los ferrocarriles

Las cantidades gastadas por los ferrocarriles de los Estados Unidos en combustible y energía eléctrica constituyen aproximadamente el 8 % de sus gastos totales de explotación.⁴ Estos costos, aunque no son relativamente tan grandes como en algunas otras industrias que hemos examina-

⁴ Los datos, correspondientes a 1939 y 1945 se refieren a los ferrocarriles de primera clase e incluyen el costo de los lubricantes (*Statistics of Railways, 1945, op. cit.*, pp. 82-83; *Statistics of Railways, 1939, op. cit.*, pp. 83-84).

do, son considerablemente más importantes que en la mayor parte de las actividades industriales.

En un estudio de las diferentes formas de energía motriz, el costo del combustible y la energía es tan sólo uno de los factores. En realidad, muchos otros componentes del costo resultan afectados por la forma de energía motriz; con frecuencia, son las variaciones de estos costos más bien que los del combustible lo que determina la elección entre diferentes fuentes de energía en competencia; así, se ha señalado frecuentemente que la creciente preferencia por locomotoras eléctricas-diesel a expensas de las locomotoras de vapor se debe a que los componentes del costo por conservación, reparaciones, gastos fijos, costo del personal del tren, etc., pueden ser menores en el caso de la locomotora eléctrica-diesel.⁵

En la futura elección entre locomotoras de este último tipo, las que utilizan turbinas de gas generado por la combustión del carbón y las locomotoras eléctricas, pueden desaparecer ciertos elementos que han influido en las comparaciones entre locomotoras de vapor y eléctricas o de vapor y diesel. Probablemente, las locomotoras de cada uno de estos tipos no diferirán mucho en lo que concierne a capacidad de tracción, velocidad, disponibilidad para el servicio, etc. Es posible, por lo tanto, que, en el futuro, la elección esté determinada por un número de factores más limitado, entre los cuales los costos comparativos de la energía y los costos iniciales (así como los gastos fijos) de las formas particulares de energía motriz tendrán importancia suma. Estos son los puntos principales que figuran en las comparaciones que siguen.

2. Las nuevas tendencias en el uso de fuerza motriz en los ferrocarriles

Hoy, como en el pasado, las locomotoras de vapor constituyen el tipo predominante de fuerza motriz en los ferrocarriles norteamericanos. Esto se desprende claramente de las cifras que siguen:⁶

Número de las locomotoras de explotación comercial propiedad de los ferrocarriles de 1ª clase en los Estados Unidos el 31 de agosto de 1945.

Vapor	39.315
Eléctricas-diesel	3.021
Eléctricas	784
TOTAL:	43.120

⁵ Véase, por ejemplo, "Diesel Locomotives", *The Lamp*, vol. 29, junio 1947, pp. 5-6 John I. Yellott, "The Coal-Burning Gas Turbine Locomotive", *The Analysts Journal*, vol. 3, n° 1, primer trimestre, 1947, p. 24.

⁶ Comisión Interestatal de Comercio, "Postwar Capital Expenditures of the Railroads", Washington, marzo de 1947, p. 17.

CUADRO 25. Tráfico de carga: toneladas-milla de vagones, contenidos y furgones de cola; años civiles 1941, 1946, 1947.

Tipo de locomotora en el tren ^a	1941		1946		1947	
	Número (millones)	% del total	Número (millones)	% del total	Número (millones)	% del total
De vapor —por combustión de carbón	951.600	79.66	949.238	69.55	990.366	66.98
De vapor —por combustión de petróleo	212.344	17.78	253.853	18.60	274.886	18.59
Eléctrica-diesel	2.654 ^b	0.22	132.863	9.73	182.971	12.37
Eléctrica	28.010	2.34	28.826	2.11	30.292	2.05
Otras clases	^b		113	0.01	83	0.01
TOTAL:	1,194,608	100.00	1,364,893	100.00	1,478,598	100.00

Fuente: Comisión Interestatal de Comercio, *Monthly Comment on Transportation Statistics*, 11 de marzo de 1948.
^a Locomotora principal.
^b La de tipo diesel y otras aparecen combinadas en los informes relativos a 1941.

Pero el continuo predominio de las locomotoras de vapor tiene menos importancia para nuestros fines que la creciente aceptación de las eléctricas-diesel. En el cuadro 25 se resumen los cambios recientes en la relativa importancia de las dos formas de fuerza motriz. Entre 1941 y 1947, las cifras indican notable aumento de la importancia relativa de las locomotoras eléctricas-diesel a expensas de las de vapor basadas en la combustión del carbón. Dado que el volumen total del tráfico de mercancías aumentó en ese período, el volumen absoluto de carga transportada por las locomotoras de vapor subió también un poco, pero es claro que su posición relativa resultó afectada por las locomotoras tipo diesel.

Donde más se revela la tendencia a favor de las locomotoras eléctricas-diesel es en el número de las de cada clase pedidas a las fábricas para uso nacional. Entre los años 1944 y 1946, los pedidos de locomotoras se distribuyeron entre los diversos tipos de la manera siguiente:⁷

Año	Vapor	Diesel	Eléctricas	Total
1944	74	680	3	757
1945	148	691	6	845
1946	55	856	8	919

Es evidente la preferencia abrumadora de las empresas ferrocarrileras norteamericanas por el tipo diesel a expensas de la energía de vapor.

Dos factores importantes quedan de manifiesto en las cifras que preceden. El primero es que los ferrocarriles electrificados representan un por ciento extraordinariamente pequeño del tráfico de carga de los ferrocarriles norteamericanos, sin que exista indicación alguna de que su importancia relativa llegue a cambiar apreciablemente. El segundo es que, al considerar si la energía atómica estimulará el crecimiento de la electrificación ferroviaria, está más de acuerdo con la realidad la comparación de los costos probables de la explotación eléctrica con la energía diesel que con la energía de vapor. Por consiguiente, nuestras subsiguientes comparaciones de costo se efectúan entre locomotoras diesel y locomotoras eléctricas.

Varias hipótesis que intervinieron en nuestra decisión de comparar solamente la energía diesel con la electrificación deben ser puestas en claro. La exclusión de la energía de vapor no debe ser interpretada en el sentido de que signifique que las locomotoras de este último tipo desaparecerán completamente durante los próximos 25 o 50 años. Ello más bien refleja nuestra creencia de que, para el tipo de servicio a que nos

⁷ Fred C. Miles, "Locomotives Ordered and Built in 1946", *Railway Age*, vol. 122, 4 de enero de 1947, p. 110. De los datos para 1944 están excluidas las compras efectuadas por el gobierno de Estados Unidos.

referimos, es decir, locomotoras destinadas a líneas principales y que recorren en promedio 200,000 millas al año, las del tipo diesel resultarán generalmente más económicas que las de vapor mientras no cambien radicalmente los precios del combustible.

Existe, sin embargo, la posibilidad de que el precio del aceite diesel aumente rápidamente si la producción nacional de petróleo crudo no se mantiene a la par con el aumento de demanda del petróleo. Además, otros países que tienen carbón, pero poco petróleo, pueden decidir no adoptar locomotoras diesel debido al alto costo que el combustible representaría para ellos o a causa de su deseo de evitar la dependencia de fuentes extranjeras para el combustible destinado a sus ferrocarriles (en parte, quizá, para conservar las divisas extranjeras y en parte por razones de seguridad). Dos han sido las consideraciones principales que han influido en nosotros por lo que atañe a la valoración de estas posibilidades: 1) la posibilidad de que, en el futuro, el costo de sintetizar combustible diesel a base de gas natural y carbón o a base de esquistos bituminosos no será mucho mayor que los costos actuales de obtenerlo del petróleo crudo; 2) creemos que la proyectada locomotora accionada por una turbina de gas procedente de la combustión del carbón implica una promesa de éxito comercial suficiente para justificar el punto de vista según el cual, en el futuro, las locomotoras basadas en la combustión del carbón serán de este tipo más bien que de vapor, por lo menos para la clase de servicio a que nos referimos en nuestro análisis.

Estas dos consideraciones nos llevan a creer que los costos de explotación con locomotoras diesel basados en los precios vigentes del combustible deben preferirse a los costos de la energía de vapor como base de comparación con los costos de la electrificación de los ferrocarriles, a pesar de la fuerza de las posibilidades arriba indicadas. Esto entraña la hipótesis, sostenida por cálculos preliminares de costo, de que los costos de explotación de la locomotora con turbina de gas generado por la combustión del carbón y a base de los precios corrientes del mismo se aproximarán a los que corresponden a la locomotora diesel.⁸

La exclusión de la energía de vapor de nuestras comparaciones en las páginas siguientes simplifica considerablemente el análisis, pero debemos recalcar que la justificación de esta omisión descansa en las hipótesis formuladas más arriba. Si los acontecimientos indicasen que se prefiere la energía de vapor a la diesel o a las turbinas de gas generado por el carbón, nuestras conclusiones tocante a la electrificación de los ferrocarriles a base de la energía atómica resultarán afectadas por ello y existirán, probablemente, razones más poderosas para la electrificación que las que se han aducido aquí. La electrificación, en efecto, puede no estar econó-

micamente justificada en comparación con la energía diesel basada en aceite que cueste entre cinco y siete centavos de dólar por galón, margen de precios en 1946 utilizado en nuestro análisis para poder comparar con los costos de la energía atómica estimados también en precios para dicho año. Con todo, puede estarlo en ciertos casos en que los precios del aceite diesel alcanzaran los 14 centavos de dólar por galón. En este último caso, podría tener lugar, de no contarse con la energía atómica, una vuelta a la energía de vapor (si, por ejemplo, fracasara la turbina de gas) y la electrificación debiera compararse con costos de explotación (incluyendo el combustible y otras cargas) mayores que los costos diesel que hemos utilizado en nuestro análisis. En aquellos países en que la escasez de petróleo es ya un problema y en los cuales se utilizarían locomotoras de vapor, las comparaciones que presentamos estarían desde el principio contra la electrificación (de nuevo en el supuesto de que el éxito no acompañase a la turbina de gas generado por la combustión del carbón).

3. *Las necesidades de capital y los costos de explotación: comparación de la fuerza motriz diesel y eléctrica*

En los cuadros 26 y 27 se presenta algún material ilustrativo acerca de los costos comparativos de la fuerza motriz diesel y eléctrica en los ferrocarriles. Conforme hicimos notar antes, buen número de datos incluidos en estos cuadros se han deducido de los estudios realizados por T. M. C. Martin para la Bonneville Power Administration.

Las cifras que da Martin se basan en una línea hipotética de vía única sobre terreno montañoso y de una longitud de 400 millas. Esto puede inclinar un tanto los resultados a favor de la electrificación. Por ejemplo, la relación entre la carga máxima y la velocidad a que llega para un determinado perfil de montaña elegido por él no subsistiría en una porción de vía férrea horizontal. En consecuencia, pudiera necesitarse menor número de locomotoras para el tonelaje transportado; esto significaría, para los cálculos relativos a la electrificación (cuadro 26), distribuir la inversión fija en instalaciones para el suministro de electricidad entre un número menor de locomotoras. Por otra parte, compensamos hasta cierto punto esta desviación suponiendo que las locomotoras diesel y eléctricas recorrerán el mismo número de millas por año, aunque en realidad se podría disponer de la locomotora eléctrica para su uso durante una mayor parte del tiempo que en el caso de la del tipo diesel y, además, puede desarrollar mayor velocidad.

Si bien los valores que se indican en estos cuadros son apenas aproximados, ponen de manifiesto ciertas importantes características de las dos clases de energía motriz y de las condiciones necesarias para que los cos-

⁸ Yellott, *op. cit.*; "Coal: The Fuel Revolution", *op. cit.*, p. 253.

La inversión extra para esta densidad y por milla resulta ser en nuestro ejemplo de unos Dls. 20,000, mientras que la inversión total media por milla en los ferrocarriles de primera clase en los Estados Unidos era de Dls. 125,000 en 1945.¹⁰ Esta comparación indica que el costo adicional de la electrificación sería, por lo menos, una fracción apreciable de la inversión total que supondría la construcción de una nueva línea ferroviaria.

b) LOS COSTOS DE EXPLOTACIÓN. En los cuadros 27 y 28 se indica hasta qué punto la desventaja inicial implícita en la inversión extra requerida para la electrificación puede compensarse mediante más bajos costos de explotación en el caso de la energía eléctrica cuando se los compara con los de las locomotoras diesel. El cuadro 27 muestra los costos de explotación (conservación y cargos fijos) aparte el del combustible para diferentes densidades de tráfico, costos no comunes a ambas formas de la energía motriz. El cuadro 28, por su parte, completa la imagen indicando los precios comparativos del aceite diesel y la electricidad que igualarán los costos totales de explotación. Debe hacerse notar que, de acuerdo con el análisis de Martin, los costos incluyen un interés del 5 % sobre el capital invertido en vía férrea y equipo.

El examen del cuadro 27 revela que la desventaja de los mayores costos iniciales en la electrificación resulta hasta cierto punto mitigada por menores costos para el entretenimiento y depreciación de la locomotora eléctrica. Pero los cargos fijos sobre los medios de suministro eléctrico son muy considerables y los costos de una explotación electrificada, aparte el combustible, no están en el mismo nivel general que los correspondientes a la energía diesel hasta tanto no se alcanza una densidad de 15 millones de toneladas milla brutas por milla de ruta. Por encima de esta densidad, los costos del sistema electrificado, aparte el combustible, son inferiores a los que corresponden a la energía diesel.

¿Hasta qué punto debe ser barata la electricidad atómica, en estas circunstancias, para que pueda competir con la energía diesel? Las comparaciones que aparecen en el cuadro 28 permiten tratar esta cuestión. Debe, sin embargo, quedar bien claro que estas cifras nos proporcionan más bien una impresión general útil que una respuesta precisa, dada la naturaleza de los datos. En términos generales, por lo tanto, encontramos que para la densidad mínima de tráfico supuesta ni aun la electricidad gratis originaría costos de explotación tan bajos como los que son posibles con la energía diesel. A medida que aumenta la densidad de tráfico, el sistema eléctrico va siendo cada vez más capaz de competir con dicha

tenido y furgones de cola por milla de ruta (computado sobre la base de los datos contenidos en *Statistics of Railways, 1945, op. cit.*).

¹⁰ *Ibid.*, p. 124.

CUADRO 27. Comparación de la fuerza motriz en el ferrocarril diesel y en el eléctrico; costos anuales de explotación (conservación y cargos fijos), expresando el combustible, no comunes a ambos sistemas, en función de la densidad de tráfico del sistema (datos expresados en términos de una sola locomotora de cada tipo que recorre 200,000 millas por año).

Densidad anual de tráfico; en millones de toneladas milla brutas de vagones, carga y furgones de cola.		(dólares)									
		2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
Conservación de locomotoras (dólares 0.55 por milla en el tipo diesel; Dls. 0.30 por milla en el tipo eléctrico) ^a Conservación de las instalaciones para suministro de energía eléctrica (Dls. 0.07 por milla) ^a Cargos fijos sobre las locomotoras (depreciación al 6 % para las diesel, al 5 % para las eléctricas; 5 % de interés en ambos casos) ^b Cargos fijos sobre la instalación de suministro eléctrico (depreciación al 3 %; interés al 5 %) ^c ..	Total	Eléctrico	Diesel	Eléctrico	Diesel	Eléctrico	Diesel	Eléctrico	Diesel	Eléctrico	Diesel
		60,000	110,000	60,000	110,000	60,000	110,000	60,000	110,000	60,000	110,000
		14,000	—	14,000	—	14,000	—	14,000	—	14,000	—
		40,000	66,000	40,000	66,000	40,000	66,000	40,000	66,000	40,000	66,000
		280,000	—	120,000	—	80,000	—	60,000	—	44,000	—
		394,000	176,000	234,000	176,000	194,000	176,000	174,000	176,000	158,000	176,000

Fuente: Adaptación de los datos publicados e inéditos debidos a T. M. C. Martin. Los datos publicados se encuentran en *Railway Motive Power for the Pacific Northwest, op. cit.*

^a Basado en 200,000 millas por locomotora por año.

^b Basadas en los costos de las locomotoras indicados en el cuadro 26.

^c Basadas en costos a prorrato de las instalaciones para suministro de electricidad indicados en el cuadro 26.

energía y el punto preciso en que se alcanza la igualdad de costos resulta afectado esencialmente por el precio del combustible diesel. Suponiendo que la demanda de electricidad de los ferrocarriles electrificados se hará con un factor de carga del 50 % (cuestión ésta que se examina en la siguiente sección), los costos de la electricidad atómica podrían oscilar entre 4 y 10 milésimos de dólar por KWH. A 4 milésimos, la electrificación resulta económicamente factible en un alto porcentaje de los casos incluidos en el cuadro 28; a 10 milésimos, la electrificación podría no estar económicamente justificada en ninguno de ellos; para una tarifa intermedia de 6.5 milésimos de dólar, la electrificación estaría justificada solamente si los precios del combustible diesel se encontrasen en los alrededores de los 10 centavos, o más, por galón y prevaleciesen muy altas densidades de tráfico.

CUADRO 28. Comparación de la fuerza motriz en los ferrocarriles diesel y los eléctricos: precios del aceite diesel y de la electricidad que igualan los gastos totales de explotación para ambos tipos de fuerza motriz en función de la densidad de tráfico del sistema^a

Si el precio del aceite diesel es (centavos de dólar por galón):	Densidad anual de tráfico: millones de toneladas-milla brutas por milla de ruta de vagones, contenido y furgones de cola.					
	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0
	Los costos totales de explotación serán iguales si el precio de la electricidad es (milésimos de dólar por KWH)					
4	*	*	0.1	1.9	2.8	3.5
6	*	*	1.4	3.2	4.1	4.8
8	*	1.0	2.8	4.6	5.4	6.2
10	*	2.3	4.1	5.9	6.8	7.5
12	*	3.6	5.4	7.3	8.1	8.8

* Incluso para un costo nulo de la electricidad, los gastos totales de explotación en el sistema eléctrico serían mayores que los gastos totales correspondientes al sistema diesel.

^a Los gastos de explotación, aparte el costo de la energía, no comunes a ambos sistemas se indican en el cuadro 27. Los costos de la energía se han sumado a los otros gastos para determinar los costos comparativos del aceite diesel y la electricidad que igualarían los gastos totales de explotación. Hemos supuesto que las necesidades de energía equivalentes por locomotora-milla son 6.8 galones de aceite diesel para las locomotoras de este tipo y 1.7 KWH para las eléctricas (cifras deducidas de los datos de Martin, *op. cit.*). Además, se ha añadido un 10% al costo de la energía para las locomotoras diesel a fin de tomar en cuenta los costos de lubricación. (Cf. Martin, *op. cit.*, y Yellott, *op. cit.*; estos especialistas afirman que la lubricación costará entre el 10 y el 20 % del costo de la energía).

B) CONSECUENCIAS DE LA ENERGÍA ATÓMICA PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE LOS FERROCARRILES EN ESTADOS UNIDOS Y EN OTROS PAÍSES

En esta sección haremos algunas observaciones generales acerca de la posible repercusión de la energía atómica en la electrificación ferroviaria. Los Estados Unidos constituyen un ejemplo de naciones en las que los suministros de petróleo y carbón son suficientes para mantener (y, de ser necesario, desarrollar) la industria ferroviaria y donde la electricidad atómica se utilizará únicamente si puede demostrar su superioridad en un mercado de combustible en el que se manifiesta una elevada competencia. Por "otros países" entendemos aquellos cuyas otras fuentes de combustible para los ferrocarriles son limitadas y en los que la electrificación basada en la energía atómica pudiera introducirse incluso a un costo aparente en dinero algo más elevado como medio de reducir la necesidad de importar combustible.

1. Estados Unidos

En el cuadro 29 se han reunido algunos datos útiles para apreciar la posible importancia de la energía atómica para la electrificación de los ferrocarriles en Estados Unidos. Encontramos en ese cuadro cifras que indican la densidad media del tráfico en las líneas ferroviarias y los precios medios pagados por el combustible diesel, clasificados por regiones de mayor tráfico. Estos datos nos permiten estimar en la columna (3) el costo promedio de la electricidad necesario para igualar en la región de que se trate los costos de explotación relativos al tipo diesel. Puesto que las líneas ferroviarias para una región dada se caracterizan por diferentes grados de densidad de tráfico, indicándose únicamente el valor promedio, este cuadro evidentemente es sólo útil para dar una impresión muy general acerca del posible papel de la energía atómica en la electrificación de los ferrocarriles en la región de que se trate.

Al determinar qué costo hay que suponer de la electricidad atómica para ferrocarriles electrificados, es esencial saber algo acerca del factor de carga que presenta esta clase de demanda. Debemos tener bien presente la advertencia de la Comisión Federal de Energía en su informe sobre la electrificación de los ferrocarriles.¹¹ "Dado que no existen dos líneas ferroviarias con la misma clase de servicio o condiciones de funcionamiento, es obvio que sus necesidades de energía y sus curvas de carga variarán mucho entre ellas. Aunque la electrificación en cada caso dará lugar a una curva de carga típica para su funcionamiento, no cabe hablar de una curva de carga típica para los ferrocarriles electrificados

¹¹ Comisión Federal de Energía, *The Use of Electric Power in Transportation*, Power Series N° 4, Washington, 1936, p. 33.

en general". El mismo informe indica que un factor de carga bastante elevado correspondiente a la anteguerra para la energía eléctrica consumida por los ferrocarriles con un gran servicio de carga y pasajeros era de un 50 %, aproximadamente, mientras que en algunas electrificaciones importantes (por ejemplo, el Pennsylvania Railroad entre Nueva York y Washington, D. C.) se ha llegado a factores de carga de cerca del 60 %.¹² Supondremos que las condiciones de demanda relativas a los ferrocarriles considerados en nuestro ejemplo están caracterizadas por un factor de carga del 50 %.¹³

CUADRO 29. Densidad de tráfico, costo del aceite diesel y tarifas estimadas de la electricidad, por regiones, que igualan los costos de explotación para locomotoras diesel en los ferrocarriles de primera clase de los Estados Unidos

Regiones (Comisión Interestatal de Comercio)	(1) Toneladas-milla brutas de vagones, contenido y furgones de cola por milla de ruta, 1945 ^a (en millones):	(2) Costo medio del aceite diesel en 1946 ^b (centavos de dólar por galón):	(3) Precio aproximado de la electricidad que igualaría los costos de explotación en el sistema diesel basados en los precios del aceite diesel en 1946 ^c (milésimos de dólar por KWH):
Nueva Inglaterra	6.4	6.8	1.2
Grandes Lagos	11.3	6.4	3.8
Oriental Central	13.3	6.1	3.8
Pocahontas	17.5	7.1	5.2
Sur	6.8	6.1	1.0
Noroeste	4.6	5.8	*
Oeste Central	8.5	5.0	1.6
Sudoeste	6.2	4.8	*

* Incluso para un costo nulo de la electricidad, los gastos totales de explotación en el sistema eléctrico serían mayores que los gastos totales correspondientes al sistema diesel.

^a Deducido de datos que figuran en *Statistics of Railways, 1945*, op. cit. Estos son promedios regionales; las densidades en las líneas principales serían más elevadas.

^b Comisión Interestatal de Comercio, *Comparative Statement of Railways Operating Statistics, 1946 and 1945*, Washington, 1947, p. 41.

^c Estimado según los datos del cuadro 28. Las tarifas indicadas son aproximaciones muy burdas.

Con un factor de carga del 50 %, los costos estimados de producción de la electricidad atómica que se indicaron en el capítulo I son aproximadamente los siguientes (en milésimos de dólar por KWH):

¹² *Ibid.*, p. 33.

¹³ Este es el factor de carga aproximado que supone Martin en un informe inédito para la Bonneville Power Administration.

cálculo mínimo	4.0-4.5
cálculo intermedio	6.5-7.0
cálculo máximo	unos 10.0

Está, desde luego, claro que para la mayor parte de las regiones que se indican en el cuadro 29, la electricidad atómica, incluso a los costos mínimos estimados, será demasiado cara para que se la adopte con carácter general. Esto no significa, sin embargo, que no pueda haber en estas regiones ciertas secciones de líneas férreas, posiblemente importantes, que podrían beneficiarse de la electrificación; nosotros sólo podemos indicar aquí cómo puede resultar afectada la región considerada en conjunto. De acuerdo con este análisis, tres son las regiones que parecen interesantes: Grandes Lagos, Oriental Central y Pocahontas,¹⁴ todas ellas con densidades de tráfico considerablemente superiores al promedio para los Estados Unidos. Las dos primeras regiones podrían, en general, beneficiarse de la electrificación a base de costos que cayeran dentro de la evaluación mínima absoluta de los costos de producción de la electricidad atómica; la región de Pocahontas podría sacar provecho, en términos generales, de los costos de la electricidad comprendidos entre los puntos mínimo e intermedio de los costos atómicos estimados.

Existen otras consideraciones importantes que pueden influir en la decisión acerca de si la energía atómica estimulará o no a la electrificación en estas regiones. En primer lugar, es necesario notar que los costos indicados se refieren a la producción de energía atómica y que, por lo general, se incurrirá en más gastos al suministrar electricidad a los ferrocarriles. Según sea la distancia respecto del ferrocarril a que esté situada la central de energía atómica, los gastos de transmisión de la electricidad pudieran aumentar en 1.5 a 2 milésimos de dólar el costo de la electricidad a la entrega.¹⁵ En este caso, incluso en la región de Pocahontas la viabilidad general económica de la electrificación podría depender de costos de producción que se encuentran cerca de (y posiblemente por bajo) de los costos atómicos mínimos estimados.

Al suponer que la tendencia general hacia la electrificación en estas regiones dependerá de la posibilidad de producir electricidad atómica a estos costos mínimos, surge otra complicación. Consiste ésta en lo siguiente: de acuerdo con el análisis realizado en otra parte de este informe, la electricidad atómica a un costo tan bajo sería en general menos cara que la electricidad obtenida de los combustibles ordinarios y esto significaría que la electricidad atómica reemplazaría gradualmente al carbón utilizado para la producción de electricidad y posiblemente también

¹⁴ Abarcan principalmente las regiones carboníferas de Virginia y Virginia Occidental.

¹⁵ Philip Sporn, "Cost of Generation of Electric Energy", *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 63, diciembre de 1937, p. 1930.

para otros usos. Cabe, pues, por lo menos, concebir que una amplia electrificación, resultado de la energía atómica, muy bien pudiera no tener lugar, porque siendo como es el carbón un elemento tan importante del tráfico ferroviario,¹⁶ las densidades de tráfico necesarias para justificar la electrificación podrían no darse en estas circunstancias, de suerte que el aceite diesel o el carbón, quizá ambos, continuarían siendo las más importantes fuentes de energía motriz en los ferrocarriles.

De modo exploratorio podemos establecer la conclusión de que la densidad media de tráfico en la mayor parte de las regiones de los Estados Unidos no es suficientemente elevada para justificar una electrificación general, incluso en el caso de los costos mínimos estimados de producción de energía atómica. Para aquellas regiones en las que el tráfico es lo bastante intenso para justificar, posiblemente, cierto grado de electrificación basada en la energía atómica, ello requeriría, al parecer, costos en los alrededores del costo estimado mínimo para dicha energía. Dado que, para un costo de ésta tan bajo, la energía atómica pudiera sustituir al carbón en buena parte de sus usos corrientes se plantea por lo menos la grave cuestión de si, como resultado de la disminución en los embarques de carbón, la densidad de tráfico ferroviario no tendería a caer por debajo del mínimo necesario para que la electrificación estuviera justificada. Por lo tanto, parece en general dudoso que la electrificación de los ferrocarriles aumente notablemente en Estados Unidos como resultado de la utilización de la energía atómica.

2. Otros países

Cabe preguntarse si la electrificación basada en la energía atómica podría ser una fuente de fuerza motriz suficientemente económica en países con un suministro escaso de combustible nacional y en los que el desarrollo de industrias que consumen grandes cantidades de energía puede estar sujeto a severas limitaciones a causa de las divisas u otras dificultades en la importación del combustible.¹⁷ Aunque no existe ningún criterio que permita contestar a esta cuestión de manera definitiva, por lo menos es posible indicar el orden de magnitud del costo adicional en dinero que aparejaría el uso de la energía atómica con preferencia a la importación de combustibles. Sólo para casos particulares se puede determinar si el costo adicional es menor que el costo extra vinculado a la compra de carbón o petróleo a cambio de artículos que acaso deban venderse en condiciones comerciales desfavorables.

¹⁶ Cf. pág. 1 de este capítulo.

¹⁷ Por las razones indicadas en la primera parte, suponemos que se podrá disponer más fácilmente en todo el mundo del combustible atómico que de los suministros de combustibles ordinarios.

Que esta cuestión viene a propósito, puede juzgarse por los siguientes hechos. El transporte ferroviario consume enormes cantidades de combustible. Conforme se indicó antes, la Comisión Interestatal de Comercio de Estados Unidos estima que en 1945, los ferrocarriles norteamericanos consumieron 159 millones de toneladas de equivalentes de carbón. Algunos países pobres en combustibles, pero con abundante energía hidráulica, han reducido en el pasado las importaciones de combustibles mediante el uso de la electricidad hidráulica para satisfacer parte de sus necesidades de energía motriz para los ferrocarriles. Ejemplos sobresalientes son: Suiza, donde las líneas electrificadas transportaron más del 80 % del total de carga y pasajeros durante la cuarta década del siglo actual;¹⁸ Suecia, en la que aproximadamente el 40 % de la longitud total de las líneas férreas está electrificado;¹⁹ finalmente Italia, donde cerca del 10 % del total estaba electrificado a mediados de la cuarta década del siglo actual, con numerosas ramificaciones en construcción.²⁰ Dado que la energía hidroeléctrica no abunda necesariamente en todos los países con escasos recursos de combustible y puesto que, incluso para aquellos países que cuentan con energía hidráulica, pueden plantearse problemas concernientes a la magnitud de los recursos no explotados y a su adecuabilidad para el suministro de energía motriz a los ferrocarriles a causa de su situación, es importante considerar el costo a que la energía atómica podría realizar una función análoga.

Para responder de modo aproximado a esta cuestión, se han utilizado datos referentes a los costos de explotación de los ferrocarriles de primera clase en los Estados Unidos, junto con las comparaciones hechas en los cuadros 26 a 28. El resultado a que hemos llegado es el siguiente: si la electricidad atómica que costara a los ferrocarriles 7.5 milésimos de dólar por KWH se usase como fuente de energía motriz en vez del aceite diesel a un costo de 10 centavos el galón, los costos totales de explotación para las líneas electrificadas serían aproximadamente un 5 % mayores que si se empleara energía diesel para una densidad de 7.5 millones de toneladas-milla brutas por milla de ruta, y aproximadamente el 10 % mayores para una densidad de 5.0 millones de toneladas-milla brutas.²¹ Evidentemente es difícil valorar la significación de estas cifras para una nación determinada sin información adicional acerca de la posición de dicho

¹⁸ Comisión Federal de Energía, *Use of Electric Power...*, op. cit., p. 51.

¹⁹ T. Thelander, "Some Results of Electric Traction on the Swedish State Railways", Conferencia sobre Economía del Combustible de la Conferencia Mundial de Energía, La Haya, 1947 (ejemplar de prueba de la conferencia).

²⁰ Comisión Federal de Energía, *Use of Electric Power...*, op. cit., p. 51.

²¹ Las toneladas milla brutas se definen aquí como el peso de los vagones, su contenido y los furgones de cola. La densidad media de tráfico en los ferrocarriles norteamericanos calculada sobre esta base, fué de 8.2 millones por milla de ruta en 1945 y de 4.7 millones en 1939.

país en lo que atañe al comercio exterior. Parece claro que, debido a la importancia de un transporte adecuado para el desenvolvimiento económico, merecería la pena soportar una desventaja de esta magnitud en el costo si estuviese severamente limitada la capacidad del país para importar combustible diesel (o carbón). Sin embargo, si se pudiera acudir a las importaciones, aunque en condiciones comerciales que se considerasen desfavorables, sería precisa una comparación específica para determinar si sería preferible la electrificación basada en la energía atómica. Sea como fuere, la energía atómica pudiera tener gran importancia para el desarrollo de ferrocarriles electrificados en dichos países, aunque una estricta comparación del costo en dinero indicaría que otros combustibles serían más baratos, y por consiguiente preferibles si sus existencias no estuviesen limitadas. Desde el momento que cabe esperar que las naciones que sienten la opresión ejercida por la escasez de suministros de combustible utilizarán el combustible de que puedan disponer cuando la sustitución de electricidad atómica representaría la mayor desventaja, su sistema ferroviario pudiera organizarse de tal manera que la electricidad atómica se empleara en las líneas principales de intenso tráfico mientras que el combustible se reservaría para líneas de poco movimiento. Así, la desventaja —de haberla— del costo de la energía atómica, se podría reducir al mínimo a la vez que las importaciones de combustible se mantendrían a un nivel más bajo que el que en otro caso sería necesario.

Apéndice: SOBRE LA VIABILIDAD DE USAR CENTRALES DE ENERGÍA ATÓMICA EN LAS LOCOMOTORAS

Debido a la limitación del espacio libre para el desplazamiento de las locomotoras en varios puntos de su recorrido y en las estaciones terminales, no se podría usar una central de energía atómica en las locomotoras a menos que el reactor, con el blindaje necesario, se pudiera confinar en un espacio muy pequeño. John I. Yellott, uno de los primeros en trabajar en el proyecto de una locomotora de turbina de gas a base de la combustión del carbón, indica que el problema del tamaño de la central de energía ha tenido importancia crítica en el diseño y perfeccionamiento de esta unidad. En conexión con esto dice: "Una central de energía incorporada a una locomotora debe ser casi increíblemente compacta. Debe poderse hacer pasar por una puerta de 10 pies de ancho por 10 pies de alto. En consecuencia, los diseños que son enteramente satisfactorios para centrales fijas o instalaciones marinas, pudieran resultar completamente inútiles en las locomotoras."²²

La información publicada sobre los reactores nucleares no proporciona respuesta definitiva a la cuestión de si cabe hacer una central de

²² Yellott, *op. cit.*, p. 27.

energía atómica tan pequeña que pueda ser transportada en una locomotora. Un problema fundamental que se plantea al intentar satisfacer las especificaciones de tamaño citadas por Yellott sería el de crear un blindaje que por sí mismo, no igualase casi, ni excediese, los límites mencionados.²³ Un observador informado ha apuntado la conjetura según la cual sería hasta cierto punto posible conseguir un reactor tan pequeño que se podría usar en una locomotora, pero añadió que no son nada alentadoras las perspectivas para lograrlo.²⁴

Aunque la cuestión de que sea técnicamente factible semejante reactor debe quedar por el momento sin respuesta, el problema del tamaño físico sugiere otra exigencia que pudiera representar una limitación muy seria para la locomotora de energía nuclear hasta mucho después de haber comenzado a usarse la energía atómica comercial. Si hay que fabricar un reactor pequeño, será necesario que contenga material fisionable muy enriquecido. Con otras palabras, la cantidad de plutonio puro o de uranio 233 en tal reactor será desproporcionadamente alta en términos de la producción de energía del reactor, comparada con los reactores en los que la compacidad no es un factor de importancia crítica. Además, a causa del pequeño tamaño, gran parte de los neutrones liberados en la fisión escaparán y, por lo tanto, no producirán nuevo material fisionable más que en el caso de reactores de dimensiones mayores.²⁵ Por las razones expuestas en el capítulo I, se necesitará la substancia fisionable pura como parte de las existencias iniciales de combustible de todas las centrales de energía nuclear y la capacidad de producción de dichos materiales puede ser un factor que limite el desarrollo de la industria de la energía atómica. La locomotora impulsada por energía nuclear, que requerirá una cantidad desproporcionadamente grande de material fisionable y que será dilapidadora por lo que concierne a la producción de nuevos suministros, bien sea para reponer sus propias existencias o para alimentar nuevos reactores, pudiera ser considerada, por lo tanto, una aplicación particularmente pobre de la energía nuclear.²⁶

²³ Véase capítulo I, A.1.

²⁴ Wheeler, *op. cit.*, p. 403. Nótese que Wheeler supone que el espacio libre mínimo disponible en las líneas férreas se encuentra en los túneles, mientras que en realidad la limitación de dicho espacio se encuentra con mayor frecuencia en los casos de "gran densidad de vías, de viaductos, de estaciones y otras estructuras, excedentes al centro y en los extremos de las curvas, etc." (Carta al autor de los especialistas de la Comisión Interestatal de Comercio).

²⁵ Remitimos al lector al capítulo I para un examen más detallado de algunas de las ideas expresadas aquí.

²⁶ El análisis del texto se efectúa con referencia a decisiones administrativas, pero el mismo resultado se obtendría con el funcionamiento de un mecanismo de precios que puede ser en realidad el instrumento para llevar a cabo decisiones administrativas. La escasez de material fisionable puro se reflejaría en un costo muy elevado por unidad de energía en comparación con el uranio natural. En este caso, los costos de construcción de un reactor que requeriría esa forma de material en cantida-

Otra desventaja económica de las centrales de energía atómica para locomotoras resulta, no de la necesidad de una limitación física del tamaño, sino del hecho de que la capacidad de energía de estas centrales es muy baja comparada con las centrales fijas. Los costos estimados que se indicaron en el capítulo I se refieren, por hipótesis, a centrales de energía cuya capacidad oscila entre 75,000 y 100,000 kilovatios. Por otra parte, las locomotoras destinadas a líneas principales, cual las que hemos examinado en el presente capítulo, tendrían una capacidad de unos 8.000 kilovatios. Una central de energía tan pequeña puede muy bien encontrarse por debajo del tamaño óptimo de los reactores nucleares y la inversión por kilovatio muy por encima de los costos señalados en el capítulo I. Sería insensato tantear ni tan sólo una aproximación general del incremento de costo con que nos pudieran enfrentar los reactores de un tamaño inferior al óptimo, no digamos ya intentar aproximar el costo particular que pudiera prevalecer a 8.000 kilovatios. Sin embargo, importa comprender que por esta sola razón, las cifras de la inversión por kilovatio que figuran en el capítulo I pueden ser completamente inaplicables a los reactores nucleares para locomotoras.

Este análisis debiera ser suficiente para indicar que es muy dudosa la creación de una locomotora impulsada por energía nuclear. Las limitaciones impuestas al tamaño físico pueden, de por sí, hacer imposible el diseño de tal locomotora. Además, diversas consideraciones económicas, que parecen indicar que el costo del reactor nuclear para la locomotora será relativamente alto en comparación con el de las centrales de energía fijas, hablan en contra de la construcción de dichas locomotoras, por lo menos hasta mucho después de que haya arraigado la industria de la energía atómica comercial.

des desproporcionadas serían relativamente altos. Análogamente, los costos de explotación serían más elevados que en las centrales fijas de energía de mayores dimensiones a causa de una proporción mayor de cargas fijas y también debido a la necesidad de reponer periódicamente la provisión de sustancias fisionables puras con compras en el exterior.

XII. CALEFACCIÓN DOMÉSTICA

Mientras todas las demás actividades consideradas en estos últimos capítulos se llevan ya a cabo por industrias existentes, no hay en Estados Unidos industria alguna (aparte excepciones carentes de importancia) que suministre calor para usos domésticos. La calefacción doméstica es generalmente un servicio proporcionado por el propio inquilino o por el propietario. Pero el calor se puede producir en una central para toda una ciudad, o sus vecindades, y ser conducido por tubería a cada uno de los usuarios de una manera análoga a la producción central de gas manufacturado o de electricidad y su transmisión al consumidor. De hecho, existen en Estados Unidos muchos de esos sistemas para el suministro de calor a los distritos comerciales de las grandes ciudades, pero muy pocos destinados a proveer de calor a las zonas de viviendas. La calefacción de éstas por el municipio es más común en algunas ciudades europeas.

¿Estimularía el desarrollo de la energía atómica comercial el crecimiento de la industria municipal de la calefacción en Estados Unidos a expensas de los combustibles hoy utilizados para la calefacción doméstica? Esto depende esencialmente de que el calor nuclear producido en centrales pueda llevarse a las casas a un costo suficientemente bajo para que pueda competir con los métodos de calefacción hoy comunes. Aunque las cifras de costo reunidas en este capítulo no nos permitirán determinar si la calefacción por distritos basada en energía nuclear será o no económicamente factible en una ciudad determinada, con todo nos proporcionarán una estimación global de su posible significación general.

Importa que examinemos esta cuestión, puesto que una parte muy grande del combustible consumido en Estados Unidos lo es para calefacción doméstica. En 1945, la calefacción de locales absorbió virtualmente toda la producción norteamericana de cerca de 50 millones de toneladas de antracita, unos 80 millones de toneladas de carbón bituminoso (casi el 15 % de todo el carbón bituminoso producido en aquel año) y el equivalente de unos 85 millones de toneladas de carbón bituminoso en forma de otros combustibles, principalmente petróleo y gas. En conjunto, el combustible consumido en la calefacción de locales representó casi el 20% del suministro total de energía obtenida de combustibles minerales y de energía hidráulica en los Estados Unidos en 1945.¹ La cantidad total de energía consumida con este propósito es, por lo tanto, esencialmente mayor que las cantidades consumidas para industrias gigantes como la ferroviaria o la siderúrgica.

¹ *Minerals Yearbook, 1945, op. cit.*, pp. 846, 847, 925. El total incluye, además de residencias, el combustible utilizado en la calefacción de oficinas, hoteles, escuelas, hospitales y probablemente también tiendas.

En la primera sección de este capítulo se estudian las maneras cómo la energía atómica pudiera utilizarse en la calefacción doméstica y se explica por qué nuestro análisis sólo examina el suministro central de calor. En la segunda parte se indican estimaciones del costo de la calefacción municipal con fuentes atómicas. En la sección final se investiga hasta qué punto podría estar justificada comercialmente en los Estados Unidos la calefacción nuclear de distritos urbanos.

A) EL USO DE LA ENERGÍA ATÓMICA EN LA CALEFACCIÓN DOMÉSTICA

Conforme a las técnicas que se prevén para la producción de energía atómica en forma útil, la calefacción doméstica basada en esta fuente de energía se llevaría a cabo, probablemente, mediante la transmisión de energía en alguna forma desde la central generadora. Un solo horno nuclear, incluso para un vasto edificio de departamentos, es de realización sumamente improbable, tanto por razón del espacio requerido por el reactor como porque las necesidades de energía de un solo edificio podrían satisfacerse con una unidad muy inferior al límite más bajo de la escala probable de tamaños económicos del reactor.

Una central de energía atómica podría proporcionar energía en forma de electricidad o como calor directo, en forma, por ejemplo, de agua caliente o vapor. La producción de calor en el reactor nuclear a temperaturas apropiadas para la calefacción doméstica suscita problemas técnicos de una complejidad considerablemente menor que los que se plantean tanto en la producción de electricidad como en la producción de calor a elevada temperatura para procesos industriales como los de, pongamos por caso, la fabricación de cemento.² Incluso en el presente estadio de desarrollo de la energía atómica, se puede afirmar que el calor producido en el reactor nuclear experimental que empezó a funcionar en Harwell, Inglaterra, en julio de 1948, se utiliza ya para calentar allí ciertos edificios.³ Desde un punto de vista puramente técnico, el empleo del reactor nuclear para calefacción doméstica es el único uso no militar del calor nuclear que se ha acreditado hasta ahora de practicable.

Con todo, la electricidad procedente de reactores nucleares es un hecho tan probable, que en todas las partes de este libro hemos supuesto su utilización. Desde el punto de vista económico, ¿es más o menos ventajosa que el calor nuclear directo? Hasta hace poco, el uso de la electricidad procedente de fuentes térmicas para la calefacción doméstica no se hubiera podido prever seriamente, puesto que la conversión de calor

² Una y otro se examinaron ya antes en el presente estudio; la electricidad, en el capítulo I, y el calor a elevada temperatura, en los capítulos I y VII.

³ "Britain's Atomic Pile", *Discovery*, vol. 9, agosto de 1948, p. 233.

en electricidad en las centrales de energía eléctrica implica una pérdida de unos $\frac{2}{3}$ del contenido de energía del combustible, lo que, por regla general, hace más costosa la calefacción eléctrica que el uso directo del combustible en la caldera doméstica. Sin embargo, con la introducción de la llamada "bomba de calor" la situación ha cambiado considerablemente, porque puede hacerse que una BTU de energía eléctrica introducida en la bomba de calor rinda entre 3 y 5 BTU de producción de calor en la casa. Por consiguiente, la bomba de calor podría hacer algo más que rectificar el desfavorable equilibrio de energía que antes entrañaba el uso de la electricidad para calefacción.

La bomba de calor, impulsada por un motor eléctrico (también pueden utilizarse otras clases de energía), extrae calor de un cuerpo exterior, como el aire, la tierra o el agua y lo lleva al interior de la casa. Durante el verano puede invertirse el proceso para la refrigeración. Este mecanismo se encuentra todavía en una fase inicial de desarrollo, pero ya se han efectuado algunas instalaciones, principalmente en edificios comerciales. Unidades diseñadas con vistas, sobre todo, al hogar vienen a costar unos Dls. 3,500 (septiembre de 1948); evidentemente, a este precio la bomba de calor no puede servir a un mercado de masas. Su atracción parece hoy ejercerse sólo sobre aquellos usuarios pudientes que pueden permitirse la refrigeración en verano y la calefacción en invierno.⁴

Dejando de lado la bomba de calor, con su capacidad para dar de 3 a 5 unidades de energía por unidad de energía eléctrica, es obvio que el reactor nuclear se utilizaría con mayor rendimiento como fuente directa de calor para calefacción doméstica que mediante el rodeo, acompañando de pérdida de energía, de suministrar electricidad. Dado que lo poco que se sabe en la actualidad acerca del costo de la bomba de calor parece colocarla en la clase de los artículos de lujo, no nos ocuparemos de ella en nuestro análisis. En consecuencia, nos referiremos únicamente a centrales atómicas productoras de calor para uso doméstico directo. Está claro que si se llegara a construir una bomba de calor cuyo costo fuera de la misma clase que el de las calderas domésticas usuales, deberíamos revisar completamente nuestro análisis.

El servicio de calefacción municipal se facilita a veces mediante una central de energía térmica cuyo producto primario es la electricidad. El escape del calor residual, que de otra manera se desperdiciaría, se aprovecha y se utiliza para la calefacción. Cuando lo permite la demanda (conforme veremos, esto ocurriría únicamente en áreas urbanas densa-

⁴ Tocante a la bomba de calor véase Philip Sporn, "The Sixth Ingredient — The Heat Pump", *Edison Electric Institute Bulletin*, vol. 12, agosto de 1944; "The Heat Pump", *Electrical Engineering*, vol. 67, abril de 1948; E. B. Penrod, "A Review of Some Heat-Pump Installations", *Mechanical Engineering*, vol. 69, agosto de 1947; y "How to Heat a House", *Fortune*, vol. 38, septiembre de 1948.

mente pobladas), una planta combinada de calor y electricidad produciría probablemente calor a un costo más bajo que una que produjese sólo calor. El uso del calor residual no representa del todo una ganancia neta, porque se requieren cambios en el equipo generador de electricidad para compensar el escape de calor a temperatura más alta que la que sería necesaria en otro caso.⁵

Cuando empiecen a funcionar las centrales atómicas, probablemente producirán en ciertos casos electricidad y calor útil a la vez a un costo promedio más bajo del que correspondería a cada uno de ellos por separado. Pero en este estudio hemos basado nuestros cálculos del costo en la hipótesis de que, con excepción de ciertas instalaciones industriales, la electricidad y el calor se producirán generalmente en fábricas separadas. Nuestra razón principal para tratar de las dos por separado es que la calefacción municipal no será practicable en gran número de lugares en que se usa comúnmente la electricidad. Esto refleja, sobre todo, una diferencia fundamental entre las dos por lo que atañe a las condiciones que determinan los costos permisibles de la distribución de energía. Pero tampoco las hemos considerado a la vez en aquellos casos en que la calefacción municipal pudiera ser económicamente factible. Ello se debe a que las pérdidas residuales de calor en las fábricas térmicas de electricidad podrían, dado el nivel corriente de consumo de la misma, satisfacer solamente parte de las necesidades de calefacción de la comunidad. Esto puede verse considerando el hecho de que la cantidad total de combustible consumido por las empresas eléctricas en los Estados Unidos en 1945 equivalió a 92.5 millones de toneladas de carbón, de los cuales entre el 50 y el 70% podría proporcionarse como calor residual, mientras que en el mismo año la calefacción de locales absorbió el equivalente de unos 215 millones de toneladas de carbón.

B) EL COSTO DE LA ENERGÍA ATÓMICA EN LA CALEFACCIÓN DOMÉSTICA MUNICIPAL

La calefacción municipal encierra dos operaciones fundamentales: la producción de calor en la central y su entrega a los diferentes usuarios. La segunda operación es la misma cualquiera que sea la fuente de calor y su costo se puede estimar con los datos relativos a sistemas de calefacción ya en funcionamiento. Es claro que este costo sería considerablemente mayor que el costo de producción de calor nuclear, por lo cual lo estudiaremos en primer lugar. Muchos de los conceptos que se introducen en este examen serán también útiles cuando analicemos la producción de calor.

⁵ Véase Political and Economic Planning, *The British Fuel and Power Industries*, Londres, octubre de 1947, pp. 136 ss.

1. La distribución del calor producido centralmente

El costo de distribuir el calor desde una planta central a los usuarios individuales está determinado principalmente por la inversión en instalaciones para la transmisión del calor. El costo dependerá, por lo tanto, de las dimensiones de la instalación necesaria para satisfacer la demanda de calor, en sus máximos de un distrito y de la producción anual de calor sobre la que se distribuyen las cargas anuales relativas a la instalación. Un estudio a grandes rasgos de los costos de la calefacción comunal, cual es el nuestro, debe valerse de indicadores generales de demanda máxima y de las necesidades anuales de calor e incorporar éstos en un programa hipotético de costos.

a) LA DEMANDA MÁXIMA (CAPACIDAD ANUAL DE LA CENTRAL). La demanda máxima para un área depende de numerosas variables, tales como la población, la mínima temperatura comúnmente alcanzada, la clase de edificios y su construcción, velocidad del viento y otras variables de menor importancia. Cualquier intento de manejar todos estos elementos conduciría a una enorme cantidad de cálculos; ello significaría, de hecho, que deberíamos tratar de cada ciudad como un caso especial. Por consiguiente, hemos conservado los dos factores más importantes como variables y hemos considerado constantes todos los demás. Los valores que hemos supuesto para los valores constantes son los valores típicos para ciudades situadas en la mitad septentrional de los Estados Unidos.

En nuestros cálculos se determina la demanda máxima como función de dos variables: densidad de población y lo que se suele llamar "intervalo proyectado de temperatura (*design temperature range*)".

1. La densidad de población se utiliza como la medida más fácil de obtener el volumen que hay que calentar.⁶ Hemos convertido la densidad de población en esta última magnitud sobre la base del número promedio de habitantes por vivienda en los Estados Unidos en 1940, y de las dimensiones promedias de tal vivienda. La cifra final que hemos usado es 1,900 pies cúbicos por habitante. Probablemente este valor no será exacto en relación con una ciudad determinada, pero el promedio nos facilita quizá las cifras más apropiadas para nuestros fines.
2. "Intervalo proyectado de temperatura" es un concepto general-

⁶ Lo que se necesita realmente es una medida del volumen total de todos los edificios, pero éste es difícil de estimar. Nos valemos de la densidad de población como el camino más simple para aproximarnos el volumen de espacio urbano habitado, única forma de uso de la calefacción que se considera en este análisis (Cf. sección C de este capítulo).

mente usado en los proyectos de calefacción. Se define como la diferencia algebraica entre 70° F y la temperatura mínima a que se supone adecuada la central de calefacción. La temperatura mínima para la que se proyecta ésta se toma generalmente a 15° F sobre la más baja temperatura experimentada en dicha área. (En algunas ciudades se utilizan 10° en vez de 15°.) Tomemos, por ejemplo, la ciudad de Boston. La temperatura mínima registrada allí es de -18° F. Por consiguiente, el intervalo proyectado de temperatura será, en este caso, $70 - (-18 + 15) = 73^\circ \text{ F}$.

La cantidad máxima de calor requerida es igual al producto del volumen a calentar (deducido de la densidad de población), por el intervalo proyectado de temperatura y por la cantidad de calor necesaria para mantener una diferencia de temperatura de un grado durante un día y por pie cúbico de volumen a calentar. Esta última cifra se considera constante, pero es muy difícil obtener un valor típico debido a que las cifras efectivas para diferentes edificios varían mucho entre sí. Se reunieron varias cifras y de ellas se eligió una "típica". Las usadas aquí son 1,500 BTU/1,000 pies cúbicos de volumen por grado por día para casas particulares y 800 BTU/1,000 pies cúbicos de volumen por grado por día para edificios de departamentos.⁷

Con la demanda máxima de calor por base hemos calculado la inversión requerida para el sistema de distribución como sigue:

1. Se supuso un área cuadrada, con la central nuclear de vapor situada en su centro.
2. Se ensayaron varios tendidos posibles de distribución y se escogió el que exigía la inversión mínima.
3. Se estimaron los costos "típicos" para los materiales de conducción sobre la base de los costos reales de construcción que figuran en varias fuentes de información y fueron ajustados al nivel de precios correspondiente a enero de 1947. Debe quedar bien entendido que los costos de conducción pueden diferir para una ciudad determinada hasta en un 30 % de los costos "típicos" supuestos, debido a diferentes condiciones del suelo, variaciones en el grado de obstrucción subterránea, distintos tipos de pavimento, etc.⁸

⁷ Se reunieron estos valores a partir de las siguientes fuentes de información: Clifford Strock, *Heating and Ventilating's Engineering Data Book*, Nueva York, The Industrial Press, 1948, pp. 5-33; *Proceedings of the National District Heating Association*, vol. 19, 1928, p. 60; vol. 30, 1939, p. 100; y vol. 34, 1943, p. 76; *Edison Electric Institute Bulletin*, vol. 14, julio de 1946, p. 233; datos proporcionados por la Peoples Gas, Light, and Coke Co., de Chicago.

⁸ El lector interesado en los pormenores técnicos debe advertir los siguientes puntos: a) se consideró que se podía disponer de presiones de vapor hasta 200 libras

La gráfica 1 resume nuestras evaluaciones de la capacidad anual de la central (capacidad máxima diaria multiplicada por 365) y la correspondiente inversión en función de la densidad de población y del intervalo proyectado de temperatura. Para ilustrar el uso de esta gráfica tomemos la ciudad de Boston, para la que antes encontramos un intervalo proyectado de la temperatura de 73°. En 1940 la densidad de población de esta ciudad fué de casi 17,000 habitantes por milla cuadrada. Para esta combinación de ambas variables la gráfica nos da, para un área de 4 millas cuadradas, un sistema de distribución de vapor con una capacidad anual de unos 5,350 millones de libras de vapor que cuestan aproximadamente ocho millones de dólares. Dadas las cifras apropiadas del intervalo proyectado de la temperatura y de la densidad de población para cualquier otra ciudad, la gráfica nos dará de manera análoga la capacidad y el costo de un sistema de distribución de vapor para un área de cuatro millas cuadradas.

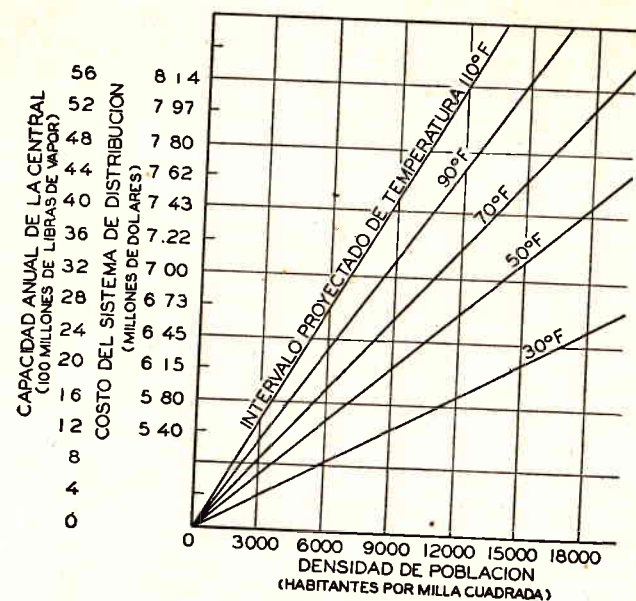
La gráfica 1, al igual que todos los demás cálculos que seguirán, se refieren al servicio de un área de esa extensión. Esta elección, claro está, es arbitraria. Conforme quedará de manifiesto más adelante, el haber elegido un área mayor pudiera haber aumentado algo los costos unitarios del calor proporcionado a causa de mayores pérdidas de calor en el paso de la central al domicilio, pero los resultados no hubieran variado esencialmente. Para las clases de ciudades en que la calefacción por distritos alimentada por energía atómica parece ser económicamente factible sobre la base de nuestro análisis, un área de cuatro millas cuadradas requeriría un reactor nuclear que cae dentro del margen probable de tamaños económicos.

Las relaciones que muestra la gráfica 1 constituirán la base en que se apoyará el análisis realizado en la última sección de este capítulo. Un punto de importancia decisiva en lo que atañe a las conclusiones a que llegamos es que el costo del sistema de distribución aumenta en proporción muy inferior a aquella en que aumenta la capacidad. La existencia de claras economías de escala en la distribución sugiere desde luego la posibilidad de que solamente las áreas caracterizadas por una elevada densidad de demanda resultarán adecuadas para los sistemas de calefacción municipal.

b) NECESIDADES ANUALES. Los factores que hemos considerado hasta aquí determinan la demanda máxima de calefacción en un área y la inversión

por pulgada cuadrada; b) el vapor se entrega al consumidor a no menos de 10 p.s.i.g.; c) las dimensiones de la tubería se calcularon de nuevo cada media milla; y d) los costos de conducción del vapor por tubería se trataron como si fuesen continuos, aunque la fijación del tamaño de las tuberías a discreción hace esto, en rigor, imposible. Creemos que el considerar continuos los costos de conducción por tubería facilita el análisis sin introducir en el cálculo errores importantes.

necesaria para construir la capacidad que satisfaga las necesidades máximas. El costo por unidad de calor proporcionado a la vivienda dependerá 1) de los gastos anuales de la inversión y 2) del número de unidades de calor sobre las que se distribuyen dichos gastos. Estos consisten, casi por completo, en gastos fijos que no varían con el número de unidades producidas. Es obvio, por lo tanto, que los costos por unidad de producto serán menores cuanto más nos acerquemos a la utilización plena de la capacidad.



GRÁFICA 1. Capacidad anual de la central y costos de inversión para el sistema de distribución del vapor (excluido el costo de la central productora y de las conexiones de servicio) que sirve a 4 millas cuadradas en función de la densidad de población y del intervalo proyectado de temperatura

Estimamos en un 12 % de la inversión los gastos anuales para todo el sistema de calefacción distrital, incluyendo la central generadora y las instalaciones para la distribución. Un 1 % representa el costo de mano de obra, conservación y suministros y el 11 % restante comprende partidas de gastos fijos, principalmente intereses, depreciación y obsolescencia, e impuestos. La proporción de gastos fijos es la misma que la que usamos en el capítulo I para estimar los costos atómicos, aunque está basada en datos relativos a los sistemas de calefacción municipal.

La cantidad de calor utilizada anualmente depende, al igual que la demanda máxima, de la densidad de población y de las condiciones climatológicas.

1. La densidad de población se utiliza aquí para aproximar el volumen que hay que calentar exactamente de la misma manera como se hizo en el caso del cálculo de la demanda máxima.
2. El tiempo atmosférico se especifica en términos del llamado "déficit térmico por año" (*annual degree days*) en vez del intervalo proyectado de temperatura. El "déficit térmico por año" es la suma extendida a todo un año de la diferencia entre 65° F y la temperatura media diaria para todos los días en que ésta es inferior a 65°. Esta medida se basa en el hecho generalmente observado de que no se utiliza la calefacción en aquellos días en los que la temperatura media exterior está sobre los 65° y que la cantidad de calor utilizada en los días más fríos es casi directamente proporcional a la diferencia entre 65° y la temperatura media exterior correspondiente.

Las necesidades anuales de calor son iguales, pues, al producto del volumen que hay que calentar (deducido de la densidad de población), por el déficit térmico anual y por la cantidad de calor requerida por pie cúbico de volumen por grado por día. Conforme hicimos notar antes, aunque esta última cifra varía mucho de un edificio a otro, hemos supuesto un valor constante para ella.⁹

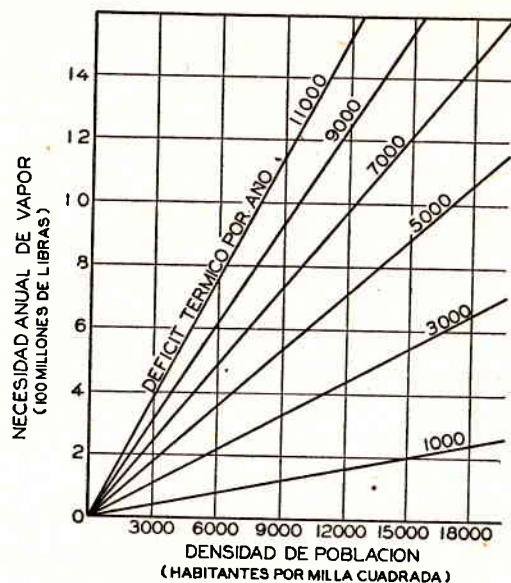
La gráfica 2 resume nuestras estimaciones de las necesidades anuales de calor en función de la densidad de población y del déficit térmico anual. Para ilustrar el uso de esta gráfica aludiremos de nuevo a la ciudad de Boston en la que la densidad de población era, en 1940, de casi 17,000 habitantes por milla cuadrada. El déficit térmico anual por temporada media de calefacción son aproximadamente 6,000. Para esta combinación de déficit térmico anual y densidad de población, la gráfica 2 especifica para un área de cuatro millas cuadradas una necesidad de calor anual de unos 1,200 millones de libras de vapor. Dadas las cifras apropiadas del déficit térmico anual y de la densidad de población para cualquier otra ciudad, la gráfica nos dará de manera análoga las necesidades promedias anuales de calor para un área de 4 millas cuadradas.

c) COSTO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL CALOR. Una vez formuladas en las gráficas 1 y 2 las relaciones básicas que determinan la capacidad de la central, el costo de la misma y las necesidades anuales de calor, nos encontramos en condiciones de estimar el costo de entrega del vapor para una ciudad cualquiera dados su densidad de población, el intervalo proyectado de la temperatura y el déficit térmico anual. Por la propia naturaleza del procedimiento seguido en la estimación, es claro que los costos así deducidos pueden distar mucho de ser aplicables a una sola ciudad, pues

⁹ Véase capítulo XII, B.I.a.

pueden apartarse significativamente de algunos de los valores "típicos" que hemos supuesto al trazar las gráficas. Con todo, creemos que las relaciones representadas en esas gráficas son útiles para la evaluación general de la viabilidad económica de la calefacción distrital que hacemos en la última sección de este capítulo.

Las operaciones para estimar el costo de la distribución del calor se pueden apreciar reuniendo las cifras que hemos señalado en relación con Boston. La densidad de población y el intervalo proyectado de la tem-



GRÁFICA 2. Necesidades anuales de vapor para 4 millas cuadradas en función de la densidad de población y del déficit térmico anual.

peratura especificaron una capacidad de distribución que cuesta Dls. 8 millones. Suponiendo que el 12 % de la inversión representa los gastos anuales del sistema de distribución, el costo anual de explotación es de Dls. 960,000. La densidad de población y el déficit térmico anual especificaron un consumo medio anual de vapor de 1,200 millones de libras. El costo de distribución en Boston sería, por lo tanto, de Dls. 0.80 por cada 1,000 libras de vapor. De manera análoga se podrían estimar los costos de distribución en otras ciudades.

El carácter relativamente costoso de la distribución de vapor queda de manifiesto cuando el costo de distribución estimado para Boston se expresa en términos del costo equivalente de carbón quemado en el hogar. El calor procedente de un carbón doméstico de calidad media, que-

mado en una caldera doméstica, con un rendimiento del 50 %, costaría Dls. 0.80 por cada 1,000 libras de vapor si el precio del carbón fuese de unos Dls. 10.50 por tonelada. Vemos, por consiguiente, que la calefacción doméstica municipal está sobrecargada con la desventaja de un elevado costo inicial en lo que concierne a la competencia con el combustible quemado en la propia casa. Cierto es que el costo de distribución del calor variará de una ciudad a otra. Sin embargo, de acuerdo con nuestros cálculos, los costos de distribución serían en Boston más bajos que en la mayor parte de las ciudades norteamericanas como consecuencia de su elevada carga de calefacción. La cuestión esencial por lo que atañe a una ciudad como Boston es la de si el costo de producción del calor en una central sería suficientemente bajo para que compensara el alto costo de su distribución.

En otras muchas ciudades en las que el costo de distribución del calor desde una central sería ya de suyo mayor que el costo del combustible quemado en el propio domicilio, no existiría una base económica para la introducción de la calefacción por distritos, ni aun en el caso en que se pudiera producir el calor en una central a un costo absolutamente nulo. Richmond, Virginia, constituye un ejemplo de esta clase de ciudades. De acuerdo con las gráficas 1 y 2, la distribución de calor en una ciudad cuya densidad de población, intervalo proyectado de temperatura y déficit térmico anual sean los de Richmond, costaría Dls. 1.83 por cada 1,000 libras de vapor. Este costo equivale a quemar en casa carbón que costase cerca de Dls. 24 por tonelada. Dado que en Richmond el precio del carbón al por menor es normalmente inferior a Dls. 24 por tonelada, la calefacción distrital es evidentemente antieconómica, incluso si el calor generado en la central resultara a costo nulo.

Claro está que el calor no se producirá sin costo alguno en un reactor nuclear. Por lo tanto, en relación con aquellas ciudades en las que el costo de distribución no excluye por sí solo la calefacción municipal es necesario examinar los costos de producción.

2. La generación de calor en un reactor nuclear

Al estimar los costos de la electricidad atómica en el capítulo I, distinguimos entre la inversión requerida en las instalaciones para producir calor nuclear y la requerida en los dispositivos para la conversión del calor en electricidad. Nos valdremos ahora de la primera de estas inversiones para estimar el costo de la generación de calor en un sistema de calefacción distrital basado en la energía atómica.

Lo que más conviene para nuestros cálculos es expresar la inversión en la central calorífica para el sistema de calefacción distrital en términos de los dólares de inversión requeridos, en promedio, para producir

una libra de calor por hora. En los otros capítulos dedicados al análisis de las industrias, hemos supuesto que el límite de los costos atómicos realizables pudiera figurar entre los costos mínimo y máximo estimados a que se llegó en el capítulo I. La inversión en instalaciones para la producción de calor que corresponde al mismo es de unos Dls. 8 por libra de demanda de vapor por hora. Esta cifra servirá de base para el costo estimado de la producción de calor en un reactor nuclear. Aunque creemos que se puede proporcionar la energía nuclear a este costo, o incluso a un costo menor, es también posible que los costos sean mayores. Debe quedar bien claro que ni aun la limitada importancia que la calefacción municipal basada en energía atómica podría adquirir a este costo tendría realidad si los costos resultasen ser esencialmente mayores.

Podemos completar ahora los cálculos del costo iniciados en la sección precedente. De nuevo nos valdremos de Boston como ejemplo. La capacidad requerida para servir un área de cuatro millas cuadradas resultó ser 5,350 millones de libras por año (sobre la base de la gráfica 1). La capacidad máxima por hora es, por lo tanto, de 5,350 millones de libras de vapor divididos por 8,760 (horas por año), es decir, unas 610,000 libras por hora. A Dls. 8 por libra de capacidad de vapor por hora, la inversión en capacidad generadora sería de unos Dls. 4.9 millones (cantidad a comparar con los Dls. 8 millones invertidos en el sistema de distribución) y, al 12 %, los gastos anuales serían aproximadamente Dls. 590,000. Para el consumo anual estimado en el caso de Boston de 1,200 millones de libras de vapor por cada 4 millas cuadradas (sobre la base de la gráfica 2), el costo resulta ser igual a unos Dls. 0.50 por cada 1,000 libras de vapor en vez de los Dls. 0.80 por cada 1,000 libras que corresponden al costo de distribución. Por consiguiente, el costo total de la calefacción distrital alimentada por energía atómica, sería en Boston de Dls. 1.30 por cada 1,000 libras de vapor suministrado.

La operación que hemos hecho para estimar el costo de la calefacción distrital en Boston se puede repetir para un área cualquiera respecto de la cual se disponga de los datos necesarios relativos a la densidad de población y las condiciones climatológicas. En la última sección de este capítulo utilizaremos el mismo procedimiento y los mismos datos para llegar a algunas conclusiones generales tocantes a la viabilidad económica de la calefacción atómica municipal en Estados Unidos. Pero antes de hacerlo es necesario aclarar una cuestión técnica a la que ya hemos aludido brevemente. Es ésta la cuestión de las pérdidas de calor.

3. Significación de las pérdidas de calor

En los estudios relativos a la calefacción distrital se dedica por lo general mucho espacio al tema de las pérdidas de calor, ya que éstas incre-

mentan los costos de explotación, principalmente debido al despilfarro de combustible. Por ejemplo, las pérdidas de calor que tienen lugar en un área de 4 millas cuadradas al conducir el vapor desde la central al consumidor podrían alcanzar hasta un 15 % del suministro anual. Evidentemente, con los combustibles ordinarios, las pérdidas de calor aumentarían considerablemente los costos del combustible.

Conforme hemos visto, el costo del combustible será probablemente una parte insignificante del costo de producción de la energía atómica. Con esto queda eliminada la principal razón para subrayar la importancia de las pérdidas de calor en la calefacción distrital. Lo que resta es el efecto de dichas pérdidas sobre la capacidad de la central. La medida aquí pertinente es, no las pérdidas de calor como tanto por ciento del suministro anual del mismo, sino como porcentaje de la capacidad de suministro. Las pérdidas en la distribución de vapor son casi constantes en cantidad absoluta, independientemente del volumen de vapor que pasa por las tuberías. En consecuencia, una pérdida del 15 % en términos del suministro medio anual equivaldría a una pérdida de cerca del 4 % en términos de la capacidad máxima (esto es, la utilización se efectúa, en promedio, al 25 % de la capacidad).

La capacidad de la central en un sistema de calefacción por distritos que cubra un área de cuatro millas cuadradas debería, por lo tanto, incrementarse en aproximadamente un 4 % sobre la demanda máxima para compensar las pérdidas de calor en la distribución. Para un área de estas dimensiones, cerca del 75 % de todas las pérdidas ocurrirían al distribuir el vapor dentro del área de consumo y en la propiedad del consumidor y el 25 % restante en las líneas principales que llevan el vapor al área de consumo. Hemos tenido en cuenta ambas clases de pérdidas al deducir las capacidades estimadas que se indican en la gráfica 1.

A medida que aumente la extensión del área de distribución, las pérdidas de calor aumentarán a razón de entre un 2 y un 3 % del suministro anual por cada milla suplementaria de línea principal. Está claro, por consiguiente, que allí donde el combustible es un importante factor del costo, los costos por unidad tienden a aumentar notablemente a medida que se ensancha el área suministrada. Pero el aumento de capacidad de la central por este motivo será considerablemente más moderado: aproximadamente entre el 0.5 y el 0.75 % por cada milla suplementaria de línea principal. Por lo tanto, si hubiésemos supuesto, pongamos por caso, un área de 16 millas cuadradas en vez de una de 4, los costos se habrían incrementado sólo en unos pocos porcentajes en aquellas localidades en que la calefacción municipal basada en la energía atómica resulta ser económicamente factible sobre la base de nuestros cálculos.

C) VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA CALEFACCIÓN MUNICIPAL BASADA EN LA ENERGÍA ATÓMICA

Los materiales que hemos presentado sobre la economía de la calefacción municipal se utilizarán ahora en una apreciación general de la posible importancia futura de la calefacción nuclear de los distritos urbanos en Estados Unidos. Creemos que los datos son más útiles para semejante apreciación general que para hacer análoga determinación en una localidad determinada. Sin embargo, dado que nuestro análisis estaría influido por determinado número de localidades, se plantea incluso aquí una grave cuestión que concierne a la exactitud de algunas de las constantes supuestas para ellas. Además, no hemos examinado los datos relativos a la densidad de población —que constituye una de las piedras angulares de nuestra estructura analítica—, con un pormenor suficiente desde el punto de vista geográfico como para hacer plena justicia al problema.

Nuestro asedio al problema es el siguiente:

1) A base de los datos acerca de los precios al por menor del combustible en ciudades representativas durante el invierno de 1945-1946, hemos seleccionado un margen de precios que parece ser típico para un combustible doméstico bastante bueno. El margen está comprendido entre Dls. 15 y 17 por equivalente de tonelada de carbón.

2) Suponemos, además, que una caldera media quema el combustible con un rendimiento del 50 %, es decir, que únicamente la mitad de la energía contenida en el combustible se traduce en calor útil. Sobre esta base, una tonelada de carbón produciría unas 13,250 libras de vapor. Semejante estimación es aproximadamente exacta para las actuales instalaciones en Estados Unidos, y aunque se podría aumentar la eficiencia, el costo del equipo necesario podría hacer antieconómico este mayor rendimiento térmico.¹⁰ Dado el precio del carbón al por menor en una localidad, podemos determinar, por lo tanto, el costo del calor en el hogar.

3) Llevando a cabo los cálculos correspondientes sobre la base de las gráficas 1 y 2 descritas en la sección que precede, encontramos las combinaciones de densidad de población, intervalo proyectado de temperatura y déficit térmico anual que harían que los costos de calefacción atómica distrital igualasen o fuesen inferiores a los costos de la calefacción ordinaria en la localidad de que se trate.

4) Finalmente, seleccionamos aquellas ciudades que, de acuerdo con la

¹⁰ "How to Heat a House", *op. cit.*

fase 3), reúnen las condiciones necesarias para la calefacción atómica de zonas urbanas por el municipio.¹¹

5) En las comparaciones que preceden, prescindimos de un costo adicional de unos Dls. 15 por año y vivienda servida por la calefacción distrital, costo dedicado a las necesarias conexiones del servicio. Esta cantidad no es mayor probablemente que la depreciación anual relativa a una caldera, pero si ésta se encuentra ya instalada, el propietario no puede recuperar su costo. En este caso, hemos supuesto que las ventajas del calor automático limpio y la economía de espacio en el sótano resultantes de la calefacción distrital podrían compensar el costo adicional de las conexiones del servicio.

Sobre la base de las etapas que acabamos de bosquejar, llegamos a la conclusión de que las siguientes condiciones generales proporcionan una guía más o menos tosca para seleccionar las áreas en que la calefacción nuclear pudiera no ser más costosa que los métodos comunes. 1) En una ciudad como Duluth, Minnesota, afectada por las condiciones de casi el más frío invierno experimentado en una localidad populosa de Estados Unidos, la calefacción nuclear por distritos no sería económicamente factible, en general, a menos que la densidad de población fuese, como mínimo, de 10,000 habitantes por milla cuadrada. (La densidad mínima de población se ha calculado, en éste y en otros casos mencionados aquí, en la hipótesis de un uso de la calefacción distrital por el 100 % de los habitantes. Se han excluido por completo los usuarios de vapor destinado a otro uso que no sea el de calefacción doméstica.) Pero no todas las ciudades con una densidad de población promedia de 10,000 o más habitantes se caracterizan por inviernos tan extremados, de suerte que la densidad de población mínima requerida para una calefacción nuclear económica en los mayores centros de población de los Estados Unidos ha de superar los 10,000 habitantes por milla cuadrada. 2) Las condiciones climatológicas experimentadas en las ciudades norteamericanas densamente pobladas son tales que sólo con una densidad de población de por lo menos, 13,000 habitantes por milla cuadrada resultaría económicamente practicable la calefacción nuclear por el municipio. Sin embargo, la exacta densidad de población necesaria dependerá del intervalo proyectado de la temperatura y del déficit térmico anual promedios. En general, estas dos variables están relacionadas entre sí de tal manera que únicamente densidades de población superiores a 15,000-16,000 habitan-

¹¹ Las cifras sobre la densidad de población se apoyan en el *Census of 1940, Population, Number of Inhabitants*, Oficina del Censo de Estados Unidos, vol. I, Washington, 1942. Las condiciones climatológicas proceden de varias fuentes, entre ellas Strock, *op. cit.*; *Handbooks of the National District Heating Association*; *Statistical Abstract of the U. S.*, etc.

res por milla cuadrada justificarían el uso en el Norte de sistemas de calefacción distrital basados en la energía atómica (y aun entonces, no siempre), mientras que su uso no estaría probablemente justificado nunca en el caso de las densidades que prevalecen en las localidades donde privan inviernos suaves.

¿Qué lugares, dentro de Estados Unidos, satisfacen las condiciones requeridas para el buen éxito comercial de la calefacción nuclear por el municipio? Es obvio que no se pueda llegar en realidad a una apreciación definitiva de las perspectivas existentes para la calefacción doméstica distrital a base de fuentes atómicas sin examinar datos detallados acerca de la densidad de población relativa a distritos pequeños dentro de todos los centros urbanos. Probablemente se puede realizar esta tarea, pero sólo con un esfuerzo mayor del que podríamos dedicarle. En consecuencia, los promedios relativos a toda la ciudad constituyen los valores básicos que hemos utilizado para la densidad de población e intentamos dar una apreciación equilibrada de su significación.

Si seleccionamos únicamente las ciudades en que la densidad global de población es lo bastante elevada (junto con las condiciones climatológicas) para que pueda entrar en competencia la calefacción municipal, es probable que no acertemos, y ello por dos motivos: 1) dentro de estas ciudades existirán, sin duda alguna, zonas en que la densidad es inferior al promedio requerido para la calefacción municipal y 2) indudablemente habrá secciones en otras ciudades en que la densidad de población excederá la media urbana, de manera que la calefacción distrital pudiera ser comercialmente factible.

La densidad de población global media es lo suficientemente alta, consideradas a la vez las condiciones climatológicas, para que la calefacción municipal nuclear pueda competir con los métodos de calefacción ordinarios en las siguientes ciudades: Boston, Buffalo, Chicago, Milwaukee, Nueva York y ciertas ciudades en el área metropolitana de Nueva York, entre ellas Newark, Patterson y Jersey City. Estas últimas ciudades del área metropolitana están particularmente calificadas debido a su extraordinaria densidad de población, las otras a causa de una combinación de densidad de población e inviernos fríos. Milwaukee presenta la menor densidad de población y los inviernos más fríos de todas las ciudades citadas en la lista anterior.

Esta enumeración de ciudades es meramente exploratoria. En realidad, no hay manera de saber con certeza si las condiciones en una ciudad particular son o no favorables a la calefacción distrital sin efectuar un detallado estudio de ingeniería del área en cuestión. Hemos supuesto ciertas condiciones típicas para el costo de tendido de la tubería, la naturaleza de las estructuras que hay que calentar, etc.; la viabilidad de la calefacción municipal en las ciudades arriba citadas depende, naturalmen-

te, de que puedan aplicárseles, efectivamente, las condiciones que se habían supuesto.

Aunque todas las demás cuestiones se resuelvan de manera satisfactoria subsiste todavía el problema resultante del uso de promedios de densidad de población relativos a toda la ciudad. Algo más del 10 % de la población de los Estados Unidos vive en aquellas ciudades (13.5 millones de habitantes de acuerdo con el censo de 1940) y su importancia relativa como consumidores de combustible destinado a la calefacción es aun mayor, porque un porcentaje considerable de aquella población vive en regiones templadas en que se utilizan cantidades relativamente pequeñas de combustible para dicho fin. Sin embargo, es claro que la carga total de calefacción en estas ciudades no se puede tomar como medida de la posible extensión que puede adquirir en los Estados Unidos la calefacción nuclear por el municipio, por ser inadecuadas las cifras sobre la densidad de población que hemos utilizado.

Se ha examinado la densidad de población en el caso de Nueva York y Chicago para unidades menores que la ciudad entera. Las densidades relativas a Nueva York se refieren a los cinco condados que constituyen la Gran Nueva York, mientras que en el caso de Chicago las densidades se refieren a áreas caracterizadas por un "tipo de estructura" dentro de la propia ciudad.¹² Aunque los promedios correspondientes a unidades más pequeñas son preferibles a la densidad media para toda la ciudad, no son por completo satisfactorios para determinar la distribución porcentual de la población de la ciudad entre áreas que poseen o no poseen, efectivamente, una población lo bastante densa para justificar la calefacción nuclear por distritos. Esto es particularmente cierto por lo que se refiere a Nueva York, porque los promedios correspondientes a los diferentes condados se refieren aún a grandes áreas de densidad no uniforme. De acuerdo con estos valores, 1.5 millones de habitantes (esto es, la población en 1940 de Queens y Richmond) de los 7.5 millones con que cuenta Nueva York, y 366,000 habitantes de los 3.3 millones con que cuenta Chicago, viven en distritos en que la densidad de población es inferior a la requerida para la calefacción nuclear distrital. Esto sugiere que si las cifras sobre la densidad de población se pudieran descomponer para unidades menores en las otras ciudades mencionadas, se vería que una parte notable de su población vive en zonas que se encuentran por debajo de la densidad requerida.

Las cifras de la densidad correspondientes a áreas más pequeñas indican que la densidad de población varía considerablemente entre las di-

¹² Tales áreas se caracterizan por un tipo particular de estructura domiciliaria (por ejemplo, viviendas para una familia, viviendas para dos familias, edificios de departamentos, etc.) o una combinación determinada de tipos. (*Master Plan of Residential Land Use of Chicago*, The Chicago Plan Commission, Chicago, 1943, p. 34.)

ferentes partes de una misma ciudad. El número de habitantes por milla cuadrada oscila en Nueva York entre 3,000 en el Condado de Richmond y 86,000 en el de Nueva York. En Chicago la variación va desde 8,500 habitantes en las áreas de "estructura familiar individual" hasta 64,000 en las áreas de "grandes edificios de departamentos". Es dudoso que muchas otras ciudades puedan presentar una variación tan grande como Nueva York y Chicago, porque en muy pocas las áreas de este último carácter tendrían, ni aun aproximadamente, igual importancia que en aquellas dos. Pero la densidad varía mucho incluso entre los tipos de estructura que se encuentran, por lo común, en otras ciudades, conforme indican las siguientes cifras referentes a Chicago:¹³

Áreas por "tipo de estructura"	Densidad por milla cuadrada
Estructuras mixtas, la mayor parte departamentos, y casas de una o dos familias	35,793
Estructuras de una familia	8,629
Estructuras de una y de dos familias	26,652

Estas pronunciadas variaciones de la densidad de población dentro de la misma ciudad sugieren acusadamente que la selección de ciudades sobre la base de una densidad media de población subestima el número de aquellas en que pudiera usarse la calefacción nuclear distrital, ya que es casi seguro que las ciudades en que el promedio global no es muy inferior al requerido desde el punto de vista económico para la calefacción municipal nuclear, contienen zonas en que la densidad sería satisfactoria. Fuera mejor designar las ciudades que hemos incluido en nuestra lista como ciudades de las que se *sabe* que contienen distritos adecuados para la calefacción nuclear (sobre la base de nuestras hipótesis), mientras que otras muchas ciudades contienen *probablemente* distritos que justificarían dicha forma de calefacción.¹⁴

¹³ *Ibid.*

¹⁴ Después de escrito este capítulo, William H. Ludlow, del Programa de Planeación de la Universidad de Chicago, nos ha llamado la atención acerca de ciertas cifras que apoyan la creencia de que en un gran número de ciudades, además de las que hemos incluido en nuestra lista, existen distritos en los que la densidad de población sería lo suficientemente alta para justificar la calefacción nuclear municipal sobre la base de nuestros cálculos de costo.

El Sr. Ludlow señala también que este tipo de calefacción podría ser importante para hacer habitables de nuevo áreas urbanas abandonadas. "En Chicago, por ejemplo existen más de 20 millas cuadradas de viviendas inhabitables o casi inhabitables que requieren reconstrucción mediante operaciones en gran escala. Las densidades en estas áreas reconstruídas pueden llegar a ser del orden de 30,000 personas por milla cuadrada... Sea como fuere, esta recuperación de áreas urbanas conducirá casi siempre, en nuestras grandes ciudades, a densidades de población que estarán considerablemente por encima del coeficiente crítico [que hemos deducido] para la calefacción

Estos resultados deben aquilatarse en relación con otros muchos aspectos. La densidad media de población, tal cual la indica el censo, se obtiene dividiendo la población total de la ciudad por su superficie total. Dado que en grandes centros urbanos como los que estamos considerando buena parte del territorio de la ciudad está dedicado a usos distintos de la vivienda, como edificios para oficinas, tiendas, fábricas, parques ferroviarios, etc., los promedios subestiman, evidentemente, la densidad media de las áreas de viviendas. La existencia de áreas no explotadas dentro del radio urbano conduce también a una subestimación.

Claro está que hubiéramos podido incluir en nuestros cálculos el vapor consumido por los establecimientos industriales y comerciales, pero decidimos no hacerlo debido a las grandes variaciones que ellos presentan entre las ciudades que figuran de manera prominente en nuestro análisis. Al excluir estos usos hemos subestimado bastante las necesidades urbanas de vapor, puesto que estas actividades requieren cantidades relativamente grandes del mismo.¹⁵ Por consiguiente, es claro que, tanto porque 1) nuestras cifras sobre la densidad de población residencial son demasiado bajas para determinar un consumo puramente doméstico, como porque 2) este último tipo de consumo subestima las necesidades de vapor de una ciudad, no podemos presentar nuestras conclusiones con todo el vigor necesario en lo que concierne a la calefacción municipal.

Toda subvaloración de la posible viabilidad económica de la calefacción municipal nuclear queda compensada, hasta cierto punto, por nuestra hipótesis de que la central generadora de calor está situada en el centro del área que debe servir. Semejante localización pudiera resultar a menudo imposible a causa del excesivo costo de llevar a ella grandes cantidades de agua. Además, hasta tanto no sean mayores nuestros conocimientos acerca de los factores de seguridad que entran en juego en el funcionamiento de los reactores nucleares, debemos considerar la posibilidad de que se juzgue arriesgado colocarlos en el centro de distritos muy habitados.

De los aspectos cuantitativos y cualitativos del análisis que se acaba de presentar, parece razonable deducir que la calefacción nuclear podría

distrital alimentada por energía atómica". (De una carta del Sr. Ludlow, fechada el 31 de enero de 1949).

¹⁵ Que así es resulta al comparar las necesidades efectivas de vapor, incluyendo su uso para fines no residenciales, en ciertos distritos de Manhattan servidos por la New York Steam Corporation, con las que hubiéramos estimado para los mismos distritos con vistas exclusivamente a la calefacción doméstica. Nuestra estimación resulta ser de cerca del 25 % de las necesidades reales. Como consecuencia de esta mayor demanda, los costos de distribución de vapor por unidad serían considerablemente menores que aquéllos a los que hemos llegado. (Esta comparación se basa, en parte, en cifras proporcionadas por W. F. Davidson, de la Consolidated Edison Company of New York.) Claro está que la importancia relativa de la demanda de vapor en Manhattan para fines no domésticos es inusitadamente alta.

hacer notables incursiones en el mercado de la calefacción de locales, mercado satisfecho en la actualidad por los combustibles ordinarios y el equipo de calefacción común. La adopción de sistemas alimentados por la energía nuclear para la calefacción municipal de una ciudad quedaría limitada, probablemente, a un pequeño número de ciudades septentrionales en las que la densidad de población es muy elevada. Por otra parte, las reducciones de costo que resultarían de la sustitución de los combustibles ordinarios por el calor nuclear serían probablemente muy modestas. De hecho, el análisis indica que los costos del calor nuclear y los de la calefacción ordinaria serían prácticamente los mismos en aquellos sitios en que el calor nuclear puede competir. Suponemos que, en estas circunstancias, pudiera producirse cierta inclinación a utilizar el calor nuclear, bien sea debido a pequeñas ventajas en el costo o a causa de las ventajas que trae consigo el abonarse a un sistema de calefacción central municipal. Todo esto se apoya en la hipótesis de que el calor nuclear se producirá a un costo aproximadamente intermedio entre los costos mínimo e intermedio estimados que se dedujeron en el capítulo I. Si los costos reales resultasen ser más elevados, por ejemplo aproximados a nuestro costo atómico calculado intermedio, la calefacción nuclear municipal sería algo más cara que la calefacción conseguida con los métodos ordinarios en el caso de la densidad media de población que encontramos en todas las ciudades antes citadas, excepto Nueva York.

TERCERA PARTE

La energía atómica y el desarrollo económico

XIII. EFECTOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA SOBRE LAS ECONOMÍAS NACIONALES Y REGIONALES

En la primera parte de este estudio se llevó a cabo un análisis de los factores económicos y técnicos vinculados a la producción de electricidad mediante la aplicación de la energía atómica. En la segunda parte se examinaron los efectos de la disponibilidad de calor y energía a bajo costo sobre la productividad, la localización y la cantidad producida para determinadas industrias. Pero la importancia de un cambio en la técnica como el que estamos estudiando no queda limitada a su influencia directa sobre las industrias que consumen energía. Por el contrario, da lugar a importantes repercusiones que se manifiestan en muchos otros sectores de la economía. En la tercera parte intentaremos apreciar el carácter y magnitud de los efectos acumulativos, tanto directos como indirectos, que puede producir la disponibilidad de energía atómica barata.

Los temas que se examinan en los dos capítulos que siguen pueden clasificarse en cuatro secciones principales. En el capítulo presente estudiaremos:

1) El efecto de la energía barata sobre el *ingreso real* (producto nacional real neto) de toda una economía. Consideraremos aquí tanto los efectos a largo plazo como a corto plazo del abaratamiento de la energía, prestando cierta atención al efecto del cambio en la técnica sobre el grado de empleo de mano de obra y de otros recursos.

2) El efecto de la ubicuidad de la energía atómica sobre la localización de la industria y de la población y, en consecuencia, sobre el desarrollo de regiones particulares dentro de una misma economía. Aunque un cambio de técnica puede producir tan sólo un moderado incremento en la productividad de una economía en su conjunto, cabe sin embargo que dé lugar a efectos mucho mayores en determinadas regiones como consecuencia del traslado de la industria.

En el capítulo XIV se examinarán las siguientes cuestiones:

3) El posible papel de la energía atómica en lo que concierne a facilitar la *industrialización de áreas "poco desarrolladas" que carecen de otras fuentes de energía*. Servirá de prólogo a esta sección un breve análisis del por qué y cómo tiene lugar esta industrialización. Investigaremos luego la cuestión de qué la ha entorpecido más, si la escasez de energía o la escasez de otros factores, especialmente de capital.

4) El posible papel de la energía atómica en lo que concierne a facilitar

la industrialización de áreas "poco desarrolladas" mediante la reducción de la cuantía requerida de capital para una escala dada de industrialización. En particular, debemos examinar la posibilidad de reducir la inversión necesaria en medios de transporte y especialmente en los ferrocarriles dedicados al transporte de combustible. Esto conduce de manera natural a la cuestión de si se puede descentralizar regionalmente la industrialización.

Nuestro análisis se basará en las características de la energía atómica descritas anteriormente (capítulos I y II). La energía atómica puede ser más barata en ciertas áreas que la obtenida de las fuentes ordinarias, sobre todo debido a poder "disponer de ella en todas partes" y a su "movilidad" o "ubicuidad". El costo de transportar el combustible atómico necesario para producir una cantidad dada de electricidad en un lugar determinado es insignificante cuando lo comparamos con el costo de transporte del carbón o del petróleo o con el de transmisión de la energía hidroeléctrica. Otra importante característica de la estructura del costo de la electricidad atómica que la distingue de la energía basada en el carbón (aunque no de la energía hidráulica) es que el costo de la mano de obra y el costo del combustible carecen relativamente de importancia.

Las estimaciones de costo presentadas anteriormente indican que la energía atómica no será mucho más barata, en el supuesto de que llegue a serlo, que las antiguas formas de energía en aquellos sitios que sigan disponiendo de un suministro suficiente de combustible barato o de energía hidráulica. Cabría prever, por consiguiente, que la energía atómica tendrá su máxima importancia relativa *a)* en aquellas regiones en las que, debido a limitaciones naturales o incluso al agotamiento de los recursos ordinarios de energía, el suministro no puede mantenerse a la par con la creciente demanda de energía y *b)* para aquellas partes del mundo que se encuentran alejadas de la energía hidráulica o de las fuentes de combustible baratas. De estas áreas, las primeras se encuentran a menudo en un estadio avanzado de industrialización. Las segundas, por el contrario, son "áreas poco desarrolladas" —áreas fundamentalmente agrícolas, con un desarrollo industrial relativamente pequeño y con un bajo nivel de ingresos por habitante.

Son tan numerosos los factores a considerar que sólo cabe esperar conseguir resultados muy generales que predigan cualitativamente —pero difícilmente de manera cuantitativa— los efectos de la introducción de la energía atómica. Debemos darnos cuenta de que ya en la actualidad tienen lugar importantes cambios, incluyendo la industrialización de muchas regiones del globo, al margen por completo de la energía atómica; éste es únicamente un factor más entre el gran número de factores técnicos, sociales y económicos que determinarán el ritmo de estos cambios. La energía atómica puede, como máximo, acelerar algunos procesos oscure-

cidos por factores como la rapidez de formación de capital en áreas poco industrializadas, los cambios de población, la velocidad de difusión del conocimiento y habilidad técnicos y la política gubernamental en relación con la industria y el comercio internacional.

Siempre constituye una tentación, claro está, el subestimar la importancia de un cambio radical en la técnica. Pocos profetas fueron capaces de predecir a qué cambios revolucionarios darían lugar los motores de combustión interna o la electricidad. Por otra parte, en tanto que profetas nos hemos fijado una tarea limitada. En este capítulo, como en el siguiente, nos referimos principalmente a una de las múltiples aplicaciones que puede tener, en último término, la energía atómica: la producción de electricidad. Si realmente tienen lugar resultados revolucionarios, serán probablemente fruto más bien del invento de aplicaciones enteramente nuevas de la energía atómica que de una mera disminución del costo de la electricidad. Además, nuestro análisis se limita a los efectos que pueden manifestarse durante los primeros 25 o 30 años que sigan a la construcción de una central eléctrica atómica practicable, lapso de tiempo éste más bien corto para que maduren descubrimientos técnicos radicales. Aun dentro de estas limitaciones, es extraordinariamente difícil la profecía.

4) POSIBLES EFECTOS SOBRE EL INGRESO NACIONAL

Nos proponemos estimar en lo que sigue qué cambio pudiera tener lugar en el ingreso (producto neto) de una economía cuando se puede disponer de energía atómica junto con las fuentes tradicionales de energía. Entendemos por ingreso el conjunto de bienes, servicios y ocio de que se puede disponer para el consumo. Los recursos liberados por la introducción de energía más barata se podrían usar para producir más bienes y servicios (y posiblemente conseguir más ocio), esto es, de acuerdo con nuestra terminología, para aumentar el ingreso nacional. Podemos asignar un valor monetario a este incremento del ingreso aplicando los precios en dinero del período original a los artículos (y al ocio) adicionales que se podrían producir.

1. Estimación del aumento de ingreso

El proceso de nuestra estimación puede aplicarse en una serie de etapas que cabe describir brevemente como sigue:

Etapas I: suponemos que los recursos liberados mediante la reducción del costo de la energía se aplican a la consecución de un incremento de todos los bienes y servicios comprendidos en el ingreso nacional simple-

mente desarrollando *proporcionalmente* todas las actividades económicas que se llevan a cabo.

Etapas II: la disminución del costo de la energía estimularía de hecho un mayor crecimiento de aquellas actividades económicas que, por virtud de esta disminución, pasarían a ser más baratas (esto es, aquellas en que el costo de la energía es una parte relativamente grande del costo del producto final) que aquellas otras actividades económicas en que dicho costo es una parte relativamente pequeña del costo del producto. En consecuencia, y como segunda aproximación, tomamos en cuenta esta demanda incrementada de energía.¹

Etapas III: una reducción del costo de la energía no sólo daría lugar a una expansión de los procedimientos ya en uso que la consumen en elevadas proporciones, sino que también provocaría la puesta en marcha de nuevos procesos (o de nuevos centros de localización, cuando no ambas cosas a la vez) que no han sido antes económicos, llevándolos a sustituir los procesos actuales. El incremento global de la demanda de energía se compondría entonces de los incrementos que se han señalado en las etapas II y III.

La segunda parte del presente libro ofrece ejemplos de esas situaciones:

La industria del cloro y la sosa cáustica constituye un ejemplo de un caso en el que la energía atómica no introduciría cambios ni en la ubicación ni en el proceso. De aplicarse, en el mejor de los casos abarataría el producto y posiblemente incrementaría la demanda. Esto corresponde a las etapas I y II.

En la mayor parte de las restantes industrias estudiadas en la segunda parte, la energía atómica pudiera introducir cambios, de ser suficientemente barata, ya sea en el proceso, ya en la localización, o bien en uno y en otra:

- 1) Aluminio: Cambio de localización, pero no de proceso.
- 2) Abonos fosfáticos: cambio en el proceso, pero probablemente no en la localización. En este caso, un proceso que consume energía eléctrica de modo intensivo substituiría a uno que usa sólo cantidades relativamente pequeñas de energía por tonelada.
- 3) Cemento, ladrillo y vidrio plano: cambios en el proceso, pero probablemente no en la localización. En estas industrias, un proceso que consume energía de modo intensivo substituiría a otro —los hornos eléctricos a los hornos de gas en el caso del vidrio, los hornos calentados por los gases a elevada temperatura procedentes

¹ Expresaremos los incrementos de energía en KWH de energía eléctrica. Cuando hablamos de un incremento del consumo de energía nos referimos a un incremento *neto* de todas las formas de energía tomadas en conjunto (energía hidráulica, carbón, energía atómica) y no a un incremento, pongamos por caso, de electricidad atómica compensado por una disminución de la energía obtenida del carbón.

del reactor a los hornos calentados por combustibles ordinarios en el caso del cemento y el ladrillo.

- 4) Calefacción doméstica: cambio en el proceso. La energía antes proporcionada por las calderas domésticas individuales sería suministrada por un sistema de calefacción central basado en los reactores nucleares.
- 5) Siderurgia: cambio de localización y de proceso. En este caso, un proceso que usa coque lo mismo como fuente de calor que como agente químico sería substituído por un proceso a base de hidrógeno producido electrolíticamente. El nuevo método se traduciría en economías en el transporte mediante el envío de hierro poroso en vez de mineral de hierro.
- 6) Ferrocarriles: cambio en el proceso. En este caso las locomotoras eléctricas substituirían a las locomotoras diesel.

La probabilidad de que ocurran cambios en cada una de estas industrias se analizó en la segunda parte. Cuando son posibles, estos cambios corresponderían a la tercera de las etapas antes indicadas.

Intentaremos ahora apreciar, a modo de ensayo, las órdenes de magnitud de los efectos sobre el ingreso nacional implícitos en las etapas I, II y III.

Etapas I. Suponiendo primero que todas las actividades económicas crecerán proporcionalmente, estimemos el incremento de ingreso nacional que podría ser determinado en Estados Unidos por la disponibilidad de energía más barata. El ingreso nacional fué de Dls. 180,000 millones en 1946. Esta cifra puede usarse como medida tanto de los artículos y servicios consumidos en aquel año, como de los recursos utilizados en su producción. El mismo año, diversos usuarios adquirieron 191,000 millones de KWH de energía eléctrica y 46,000 millones de KWH fueron producidos por establecimientos industriales para su propio uso; el consumo total fué, pues, de unos 240,000 millones de KWH. Por lo tanto, cada reducción de un milésimo de dólar por KWH en los costos de producción de la electricidad permitiría ahorrar Dls. 240 millones o el 0.13 % de los recursos utilizados para producir el ingreso nacional de 1946.² Esto es, los artículos realmente producidos en 1946 se hubieran podido producir con Dls. 240 millones menos de recursos de los que efectivamente se usaron. Si la introducción de la energía atómica redujese los costos medios de producción en 2.5 milésimos por KWH, el ahorro total de recursos alcanzaría cerca de los Dls. 600 millones de acuerdo con los precios de la mano de obra y de otros recursos en 1946.

² Oficina del Censo de Estados Unidos, *Statistical Abstract of the United States*, 1948, Washington, 1948, cuadros 306, 539 y 534. Las cifras relativas al consumo de energía y al ingreso nacional de 1948 conducen al mismo porcentaje.

Si el ingreso nacional de 1946 se pudiera haber producido por Dls. 180,000 — 600 = Dls. 179,400 millones de recursos y si se pudiera disponer de hecho de Dls. 180,000 millones de recursos, en tal caso podemos estimar que con energía más barata en la economía expansionada proporcionalmente el ingreso total hubiera sido de unos $(180/179,4) \times 180$ miles de millones de dólares, es decir, Dls. 180,600 millones. Por consiguiente, el incremento de ingreso atribuible a la disponibilidad de energía más barata sería de Dls. 600 millones.³

Etapas II. Tomemos ahora en cuenta el hecho de que los procesos que requieren energía de modo intensivo tenderán a desarrollarse más rápidamente que los demás. Supongamos que una reducción de 2.5 milésimos de dólar por KWH en el costo de la energía incrementara la cantidad de energía eléctrica producida y demandada de 240,000 a 270,000 millones de KWH. (Más adelante nos ocuparemos de la cuestión de cómo podemos realmente estimar el incremento de la demanda de energía. Por el momento suponemos arbitrariamente un valor hipotético.) Nótese que, de acuerdo con las hipótesis de la etapa I, la producción de energía eléctrica aumentaría de 240 a $240 \times (180/179,4) = 240,8$ miles de millares de KWH, es decir, sólo en 800 millones de KWH. Supongamos ahora que antes de la introducción de la energía más barata la energía costaba en promedio un centavo por KWH. Los 270,000 millones de KWH de energía que ahora es posible producir a un costo de 2,025 millones de dólares hubieran costado 2,700 millones de acuerdo con el precio antiguo. La reducción del precio equivale, por consiguiente, a añadir un valor en recursos de $2,700 - 2,025 = 675$ millones de dólares, o a incrementar el ingreso nacional en la misma cuantía.⁴

³ Sean p_1 y p_2 el costo de la energía antes y después de la introducción de la energía barata, respectivamente; Y_1 e Y_2 , el ingreso nacional antes y después; E_1 y E_2 la cantidad de energía producida antes y después; R la cantidad de recursos efectivamente disponibles (medida en dólares); y R' la cantidad que se requeriría contando con electricidad más barata para producir el ingreso Y_1 . Supongamos, además, que se consumen k KWH de energía y l dólares de otros recursos por unidad de ingreso nacional. En estas condiciones $\bar{R} = (p_1 k + l) Y_1 = (p_2 k + l) Y_2$ y $kY_1 = E_1$; y dado que $R' = (p_2 k + l) Y_1$ tendremos $R' = R - (p_1 - p_2)kY_1 = \bar{R} - (p_1 - p_2)E_1$ y $Y_2 = \frac{R}{\bar{R}} Y_1$.

⁴ Sean de nuevo E_2 la cantidad de energía; sea $L_2 = l_2 Y_2$ el valor en dólares de los recursos utilizados para otros fines distintos a la producción de energía, una y otro medidos después de la introducción de la energía barata. Sean R los recursos efectivamente disponibles (medidos en dólares) y p_1 y p_2 los precios inicial y final de la energía, respectivamente.

Sean $\bar{R}$ los recursos (en dólares) que se hubieran requerido para producir E_2 y L_2 sin contar con el método más barato de producción de energía. En estas condiciones, por definición es $R = p_2 E_2 + L_2$ y $\bar{R} = p_1 E_2 + L_2$, de donde tendríamos que $\bar{R} - R = E_2 (p_1 - p_2)$.

Etapas III. Sin embargo, una reducción en el costo de la energía no sólo incrementaría la utilización de los procesos preexistentes que la consumen en grandes proporciones, sino que también originaría el uso de procesos que antes no resultaban económicos y acarrearía desplazamientos desde los lugares anteriormente óptimos a nuevas localizaciones óptimas con los bajos costos de energía. En la segunda parte se presentaron varios ejemplos de casos en que tendrían lugar sustituciones de métodos o cambios de ubicación, o ambas cosas a la vez, si se pudiera disponer en otra parte de energía a un precio suficientemente bajo. En el caso de cambio de proceso, los antiguos métodos resultan reemplazados por nuevos procesos que utilizan posiblemente mayores cantidades de energía eléctrica por unidad de producto, pero cantidades menores de todos los factores restantes en su conjunto. En el caso de cambios de lugar, sitios que antes se encontraban con la desventaja de elevados costos de la energía, pero favorecidos por bajos costos de transporte (excepto por lo que se refiere al combustible), pueden ahora competir con sitios que gozan de costos bajos de energía (por ejemplo, cerca de las minas de carbón o de las centrales hidroeléctricas) pero en los que los costos de transporte son altos.

En el caso de un cambio de proceso, no se liberan recursos al adoptar el nuevo proceso hasta tanto los costos de la energía atómica no se reduzcan a un valor inferior al punto de equivalencia entre los dos procesos. El ahorro de recursos será de proporción menor a aquella que correspondería a la diferencia entre el nuevo precio de la energía y el antiguo.⁵ Por consiguiente, será menor que en la etapa II.

⁵ Sean k_1 , l_1 y k_2 , l_2 , las cantidades de energía (en KWH) y de otros recursos (en dólares) utilizados por unidad de ingreso nacional de acuerdo con el antiguo y el nuevo procedimiento, respectivamente. Este último consume energía de modo más intensivo que el primero, es decir, $l_1 > l_2$, $k_1 < k_2$. Como antes, Y_2 es el nuevo ingreso nacional. Con los recursos R y $\bar{R}$ definidos en la nota precedente, tenemos

$$R = Y_2 (p_2 k_2 + l_2); \quad \bar{R} = Y_2 (p_1 k_1 + l_1).$$

Sea $\bar{p}$ el precio de equivalencia de la energía, esto es, $k_1 \bar{p} + l_1 = k_2 \bar{p} + l_2$, de donde $l_1 - l_2 = (k_2 - k_1) \bar{p}$ y

$$\bar{R} - R = Y_2 (p_1 k_1 - p_2 k_2 + l_1 - l_2) = Y_2 [p_1 k_1 - p_2 k_2 + (k_2 - k_1) \bar{p}];$$

$$(1) \quad \bar{R} - R = Y_2 [k_1 (p_1 - \bar{p}) + k_2 (\bar{p} - p_2)].$$

Análogamente $\bar{R} - R = Y_2 [(k_1 - k_2) (p_1 - \bar{p}) + k_2 (p_1 - p_2)] =$

$$= (k_1 - k_2) (p_1 - \bar{p}) Y_2 + E_2 (p_1 - p_2),$$

donde $E_2 = k_2 Y_2$ es la cantidad de energía utilizada después del cambio. Puesto que $k_1 - k_2 < 0$, de ahí se sigue que

$$\bar{R} - R < E_2 (p_1 - p_2),$$

conforme se afirma en el texto. En el caso particular en que sea $k_1 = 0$ (es decir,

Cuando tiene lugar un cambio de localización, no se liberan recursos a menos que los costos de la energía en la nueva ubicación se reduzcan a un valor por debajo del punto de equivalencia de las dos localidades. En este caso, el ahorro en recursos es proporcional a la diferencia entre el nuevo precio de la energía en el nuevo sitio y el precio de equivalencia de la energía en esta localidad (esto es, cae por debajo de la mera proporcionalidad a la diferencia entre el precio nuevo de la energía y el precio antiguo en dicha localidad).⁶

si en el antiguo procedimiento no se utiliza energía alguna), de (1) se deduce que

$$\bar{R} - R = E_2 (\bar{p} - p_2),$$

esto es, en este caso límite el ahorro de recursos es proporcional a la diferencia entre el nuevo precio de la energía y el precio de equivalencia de la misma.

Ejemplos de este caso límite los proporcionaría la adopción de cocinas eléctricas en vez del gas o la introducción del proceso del hierro poroso en la industria del acero. Ciertamente es que en el caso general el ahorro de recursos es mayor que

$E_2 (\bar{p} - p_2)$ si bien, sin duda, menor que $E_2 (p_1 - p_2)$. Sin embargo, cabe descomponer la reducción del precio de la energía en dos partes: del antiguo precio p_1 al

precio de equivalencia $\bar{p}$ y del precio $\bar{p}$ al nuevo precio p_2 . La ecuación (1) nos dice que el ahorro de recursos resulta más fuertemente influido por la segunda parte que por la primera parte de la reducción del precio ya que $k_2 > k_1$. Si k_2 es muy grande en comparación con k_1 (es decir, si el nuevo procedimiento consume mucha energía eléctrica comparado con el antiguo), la mayor parte del ahorro de recursos será proporcional a la diferencia entre el nuevo precio de la energía y el precio de equivalencia.

⁶ Sea p' el antiguo precio de la energía en la antigua localidad; sean p_1 y p_2 , respectivamente, el antiguo y el nuevo precio en la localización nueva. Supongamos que el precio de producción es el mismo, pero que el costo de transporte (excepto posiblemente para el combustible) es mayor en el antiguo sitio. Por consiguiente, el costo de producción antes del abaratamiento de la energía se puede expresar en la forma $p'k + l_1$ en el antiguo sitio y por $p_1 k + l_2$ en el nuevo, expresiones éstas en las que k es la cantidad de energía por unidad de producto y en las que $l_1 > l_2$ y $p_1 > p'$. Si $\bar{p}$ es el precio de equivalencia de la energía en la nueva localidad (portes bajos), $k p' + l_1 = k \bar{p} + l_2$ o bien

$$(2) \quad l_1 - l_2 = k (\bar{p} - p').$$

Por lo tanto $\bar{p} > p'$. Para producir el nuevo ingreso Y_2 se necesitan, en el nuevo sitio, los recursos dados por $R = Y_2 (p_2 k + l_2)$; en la antigua localidad se necesitarían $\bar{R} = Y_2 (p' k + l_1)$. El ahorro de recursos es, en virtud de (2),

$$\bar{R} - R = Y_2 [k(p' - p_2) + k(\bar{p} - p')] = Y_2 k(\bar{p} - p_2),$$

$$\bar{R} - R = E_2 (\bar{p} - p_2), \text{ donde } E_2 = k Y_2.$$

Por consiguiente si el precio de la energía en el nuevo sitio se redujera a $p_2' < \bar{p}$, el ahorro de recursos sería $E_2(\bar{p} - p_2)$ conforme lo indicado en el texto. Dado que en general $p_1 > \bar{p} > p'$, tenemos

Los cambios de proceso y los de situación quedan ilustrados por el ejemplo hipotético que se presenta en el cuadro 30. Este cuadro indica los costos unitarios de manufactura de un producto mediante dos procesos, de los cuales el proceso I requiere 1,000 KWH por unidad de producto y el II 8,000 KWH por unidad. Se indican también los costos para dos localizaciones hipotéticas, una de ellas con elevados costos de transporte, la otra con costos de transporte bajos.

CUADRO 30. Efectos de distintos procesos y localización: ejemplo hipotético.

	Unidades	Proceso I	Proceso II
Energía requerida	KWH/ton.	1,000	8,000
Costo de la energía por KWH	mil./KWH	15 10 7 6 5 4 3	10 7 6 5 4 3
Costo de la energía por tonelada	Dls./ton.	15 10 7 6 5 4 3	80 56 48 40 32 24
Otros costos por tonelada, excepto el transporte	Dls./ton.	45 45 45 45 45 45 45	10 10 10 10 10 10
Costo total por tonelada, excepto el transporte	Dls./ton.	60 55 52 51 50 49 48	90 66 58 50 42 34
Costo del transporte por tonelada			
Alto	Dls./ton.	20 20 20 20 20 20 20	20 20 20 20 20 20
Bajo	Dls./ton.	12 12 12 12 12 12 12	12 12 12 12 12 12
COSTO TOTAL			
Alto	Dls./ton.	80 75 72 71 70 69 68	110 86 78 70 62 54
Bajo	Dls./ton.	72 67 64 63 62 61 60	102 78 70 62 54 46

Para ilustrar el cambio de proceso, supongamos un costo inicial de la energía de 10 milésimos de dólar tanto en una como en otra localidad. En esta hipótesis, el proceso I se utilizaría en el sitio que goza de portes bajos. El costo resultaría ser de Dls. 67.00 por unidad. Si los nuevos costos de la energía se redujeran en todas partes a 4 milésimos, el proceso II se emplearía en el mismo sitio con un costo de Dls. 54.00 por unidad —un ahorro, por lo tanto, de Dls. 13.00 por unidad—. Este ahorro es

$$E_2 (p_1 - p_2) > E_2 (\bar{p} - p_2) > E_2 (p' - p_2).$$

En la etapa II nos valemos de la primera de estas cantidades, lo que origina una estimación máxima del efecto del cambio de localización sobre el ingreso. Por otra parte, $E_2 (p' - p_2)$ daría una subestimación hasta el punto de dar una cantidad negativa en el caso en que $p' < p_2$.

mucho menor que la diferencia de costo con el proceso II a los precios antiguo y nuevo de la energía (Dls. 102 — 54 = 48). El precio de equivalencia de la energía para los dos procesos es de 5 milésimos de dólar.

Para ilustrar el cambio de localización, supongamos un costo inicial de la energía de 10 milésimos en el sitio en que se cuenta con portes bajos y de 5 milésimos en aquél en que los costos de transporte son altos. Si sólo se conoce el proceso II, la producción tendrá lugar en este último a un costo de Dls. 70.00. Si ahora se reducen los costos de la energía a 5 milésimos en la localidad favorecida por portes bajos, la producción se trasladará a este sitio resultando a un costo de Dls. 62.00. El precio de equivalencia de la energía en esta última es de 6 milésimos.

Finalmente, una reducción en los costos de la energía puede producir un cambio simultáneo en el proceso y en la localización. Supongamos que el precio inicial de la energía en la localidad con portes bajos es de 15 milésimos y que este mismo precio es de 6 milésimos en el sitio en que las tarifas de transporte son elevadas. En estas condiciones, el proceso I presentará las óptimas ventajas en este último a un costo de Dls. 71.00. Pero si los costos de la energía en ambos lugares se reducen ahora a 4 milésimos, la producción tendrá lugar con el proceso II en el sitio de portes bajos y a un costo de Dls. 54.00.

Por consiguiente, si empleamos el método correspondiente a la etapa II para estimar el cambio de ingreso que resulta de la introducción de la energía atómica, y si parte del aumento de demanda de energía resulta de hecho de los cambios del tipo discutido en la etapa III, habremos sobrestimado el incremento de ingreso. En cualquier caso real de reducción del costo de la energía, el aumento resultante de demanda de la misma se deberá con certeza a las formas de cambio descritas en las etapas II y III. De todo eso se puede deducir que el método de evaluación deducido en la etapa II nos da un límite superior de incremento de ingreso resultante de una disminución del costo de la energía; el aumento real será algo menor.

2. Estimación del aumento de la demanda de energía

Los cálculos que hemos presentado en las etapas II y III relativos al incremento de ingreso nacional originado por una reducción del costo de la energía, dependen de las estimaciones relativas a la magnitud del incremento que registrará la cantidad de energía utilizada en la economía en cuestión. Examinaremos de dos maneras los efectos de la reducción del costo sobre el uso industrial y doméstico: primero, intentando estimar la repercusión de este efecto en el pasado y aplicarlo al futuro; segundo, considerando las posibilidades de que este efecto sea mayor que en el pasado a causa de algunos cambios espectaculares en los métodos

y en las localizaciones hechos posibles por un más bajo nivel de precios de la energía.

Los datos de 1939 correspondientes a industrias manufactureras en 44 estados⁷ indican que la energía adquirida por obrero aumentaba casi proporcionalmente a la disminución del precio medio pagado por la energía. Esto es, en los estados en que el costo promedio de la energía comprada era de 12 milésimos por KWH, la cantidad media consumida por trabajador en las industrias manufactureras fué de unos 5,400 KWH, mientras que en los estados en que el costo era de 6 milésimos por KWH el consumo medio fué de 11,000 KWH aproximadamente, o sea dos veces mayor. Si se prescinde de las variaciones de los salarios anuales entre los diferentes estados, cabe deducir que en las industrias manufactureras la elasticidad de la demanda de energía es aproximadamente de uno para una región de la extensión y tipo de un estado norteamericano. Esta elasticidad es igual a la disminución porcentual del precio de la electricidad dividida por el correspondiente incremento porcentual de la demanda de la misma. Hemos supuesto que el precio de la mano de obra y la cantidad de trabajo empleada no resultan afectados por el cambio de precio de la electricidad. Este valor se obtuvo sin incluir cuatro estados montañosos, Arizona, Montana, Nevada y Wyoming. Incluidos éstos, la elasticidad aumenta hasta 1.3, debido al papel representado en estos estados por las plantas de refinación de metales. Por otra parte, la elasticidad de la demanda así deducida se refiere a la electricidad, no a la energía en su conjunto. La elasticidad correspondiente a esta última debe ser algo menor que la que corresponde a la electricidad; ésta resulta afectada por la posibilidad de substituir entre sí correas de transmisión movidas eléctricamente y por vapor, procedimientos eléctricos y térmicos en las industrias químicas, etc.

Análogamente, las variaciones que se observan entre los diferentes estados en las ventas de energía a los fabricantes pueden ser debidas en buena parte a que aquellas industrias que consumen cantidades considerables de energía resultaron atraídas hacia los estados en los que el costo de la misma (o más exactamente, la proporción entre el costo de la energía y el de los salarios) es bajo en comparación con otros estados. El abaratamiento de la electricidad en un estado aumentaría su demanda de electricidad a la vez que disminuiría posiblemente la demanda de electricidad en algún otro estado. Si se redujera el costo de la electricidad en todas partes, el efecto total sería probablemente mucho menor que el calculado más arriba.

En consecuencia, la elasticidad de la demanda de energía para las industrias manufactureras de Estados Unidos en su conjunto es con toda

⁷ Gordon, *op. cit.*, pp. 174-176. Basado en el U. S. Census of Manufactures, 1939, *op. cit.*

probabilidad superior a la unidad. Con todo, supondremos por el momento que es igual a la unidad a fin de estimar el efecto máximo de la reducción del costo de la electricidad. En 1946 las industrias manufactureras norteamericanas utilizaron 122,000 millones de KWH y las industrias de extracción otros 12,000 millones; el costo medio de la electricidad para estos consumidores fué aproximadamente de 1 centavo por KWH.⁸ Supongamos que el costo de producción de la electricidad se reduce en 2.5 milésimos y que esta economía en el costo se traslada por completo a los consumidores. En estas condiciones, el costo que afecta a estos últimos se reduce de 10 milésimos de dólar a 7.5, es decir, en la proporción de 4:3. Supongamos también que los salarios permanecen constantes. (Más generalmente, el mismo efecto se consigue siempre que la razón del costo de la electricidad para el consumidor a la tasa de salario se reduce en la proporción de 4:3.) Luego, si la elasticidad de demanda de la electricidad es igual a uno, la demanda industrial aumentará en la proporción de 3:4, esto es, en unos 45,000 millones de KWH.

Pasemos ahora a la demanda no industrial de energía. En 1946 se consumieron en total 103,000 millones de KWH fuera de las industrias manufactureras y la minería: 39,000 millones por clientes domésticos en áreas urbanas, el resto por clientes "rurales" (esto es, aquéllos que pagan las tarifas especiales que rigen en las áreas rurales), usuarios comerciales, transmite al consumidor, reduciendo con esto el precio a 2.25 centavos por KWH.⁹ Supongamos de nuevo que una baja de 2.5 milésimos se transmite al consumidor, reduciendo con esto el precio a 2.25 centavos (supuesto que los costos de distribución no han cambiado). Supongamos que estuvimos en lo cierto al creer que la respuesta normal a una baja de precio es incrementar la cuantía de la demanda en la misma proporción en que ha variado el precio, es decir, supongamos que la "elasticidad" de esta demanda es igual a 1. En estas circunstancias, una disminución del precio en la proporción 25:22.5 originaría un incremento de la demanda de $103 \times (25/22.5) - 103 = 11,000$ millones de KWH, aproximadamente. Si la elasticidad de la demanda fuese 2 en vez de 1, la demanda aumentaría en 1.23 veces más, es decir, en 25,000 millones de KWH.¹⁰ ¿Qué nos enseña el pasado acerca de la elasticidad real de la demanda de electricidad para fines no industriales? Basta considerar sola-

⁸ *Statistical Abstract of the United States, 1948, op. cit.*, cuadros 929 y 539. Suponemos que el precio pagado por los "grandes compradores de luz y energía" es también el costo por KWH de los 46 millones de KWH de electricidad producidos por las fábricas manufactureras para su propio consumo.

⁹ Precio medio pagado por los clientes no incluidos en la categoría de "grandes compradores de luz y energía".

¹⁰ Por definición, si η es la elasticidad de la demanda, la razón de la nueva cantidad (y') a la antigua (y) es $y'/y = (p/p')\eta$, donde p' y p son los precios nuevo y antiguo, respectivamente. Por lo tanto, para $\eta = 2$ resulta $y'/y = (p/p')^2 = (25/22.5)^2 = 1.23$.

mente los clientes de áreas residenciales, lo que se hace en el cuadro 31. Para otros consumidores no industriales de electricidad, la baja relativa de precio puede ser mayor, pero la elasticidad de la demanda es probablemente más pequeña que en el caso de los clientes domésticos.

CUADRO 31. Cambios en el consumo doméstico, en el precio de la electricidad y en el ingreso nacional 1913, 1930 y 1948.

	1913	1930	1948	Proporción de aumento o disminución	
				1913-1930	1930-1948
1. Ventas anuales a los clientes domésticos KWH por cliente	264 ^a	547 ^b	1,563	1:2	1:3
2. id., KWH por habitante	9	90	350	1:10	1:4
3. id., KWH por domicilio	41	367	1,275	1:9	1:3.5
4. Precio medio pagado por el cliente doméstico, centavos de dólar por KWH	8.7 ^a	6.0	3.0		
5. id., deflacionado por el costo de la vida (1930 = 100)	14.7	6.0	2.1	2.5:1	2.75:1
6. Ingreso anual en dólares <i>per capita</i>	358 ^c	560 ^c 610 ^d	1,540 ^d		
7. id., deflacionado por el costo de la vida	606 ^c	560 ^c 610 ^d	1,080 ^d	1:1	1:1.75
8. Proporción de clientes domésticos y rurales respecto al número de domicilios	0.15	0.42	0.93		

Fuentes (además de las citadas en las notas al pie que siguen): *Statistical Abstract for the United States, 1948, op. cit.*; *Survey of Current Business*, Departamento de Comercio de Estados Unidos, vol. 29, 1949; Edison Electric Institute, *Statistical Bulletin, 1948*, Nueva York, junio de 1949.

^a *National Electric Light Association, Statistical Bulletin, 1931*, Nueva York, julio de 1932, cuadros II y IV, incluidas las explotaciones agrícolas.

^b *Ibid.*, incluidas las fincas rurales del este.

^c Antigua serie del Departamento de Comercio, datos que se encuentran en *The Economic Almanac for 1949*, Junta de la Conferencia Nacional de Industrias, Nueva York, 1948, p. 77.

^d *Ibid.*, Nueva serie del Departamento de Comercio.

Si comparamos el cambio en el consumo por habitante o por domicilio (renglones 2 o 3), con el cambio de precio (renglón 5), encontramos una elasticidad de la demanda de cerca de 4 para el período 1913-1930. Pero en el período 1930-1948 la elasticidad de la demanda fué inferior a 2; de hecho, llegó a ser 1 si se tiene en cuenta, cual debe hacerse, el incremento de ingreso real *per capita* que tuvo lugar en este período (renglón 7). Podemos estar seguros que el patrón que ofrece el período 1930-1948 es más interesante con vistas a una estimación relativa al futuro que el correspondiente a 1913-1930, puesto que la menor

sensibilidad a los cambios de precio que cabe admitir en el caso de elevados niveles de ingreso persistirá probablemente, a menos que esperemos una baja catastrófica del mismo. A pesar del hecho de que el consumo en 1948 resultó disminuído tal vez por la escasez de nuevas viviendas y aparatos eléctricos en los años precedentes, las ventas de electricidad a los clientes urbanos aumentaron más rápidamente desde 1942 a 1948 que desde 1938 a 1942. Estimamos, pues, la futura elasticidad de la demanda no doméstica de electricidad en no más de 2.

Esta estimación no es excesivamente moderada. El muy rápido incremento en el uso doméstico de la electricidad durante las dos generaciones que preceden se puede atribuir tan sólo en pequeña parte a la reducción del número y la proporción de los hogares que cuentan con instalación eléctrica y del número de aparatos domésticos que usan energía eléctrica.

La instalación de electricidad en los hogares norteamericanos que antes no contaban con ella es un proceso que rápidamente se acerca a su fin; esto es lo que indica la línea 8 del cuadro 31, si bien de manera imperfecta.¹¹ En cuanto al aumento del número de aparatos eléctricos, nos remitimos al cuadro 32. Se presenta en él una distribución estimada del consumo eléctrico doméstico entre sus varios usos en 1942, año éste el último del que se dispone de datos.

Al estimar la importancia que el precio de la electricidad tiene como factor para hacer aumentar su empleo en las casas particulares, hemos de distinguir dos tipos de aparatos eléctricos: *a)* los que reemplazan aparatos no eléctricos (por ejemplo, refrigeradores eléctricos en vez de neveras de gas o de hielo) y *b)* los que proporcionan algún nuevo servicio (por ejemplo, radioreceptores y máquinas lavadoras). En el primer caso, sobre todo si la inversión de capital en los aparatos eléctricos y no eléctricos es aproximadamente la misma, el costo relativo de funcionamiento puede ser el factor determinante, si bien la conveniencia, la limpieza y la moda desempeñan ciertamente un importante papel. En el segundo caso, la decisión de utilizar el aparato dependerá quizá más de la inversión de capital que ello suponga que del costo anual de la corriente. Por ejemplo, una máquina de planchar eléctrica de Dls. 300 consume quizá Dls. 2 de corriente por año.

Por lo tanto, el efecto más importante del abaratamiento de la electricidad doméstica sería probablemente la sustitución del gas y determinados aparatos no eléctricos por otros eléctricos. El aumento consiguiente en el consumo doméstico de la electricidad podría ser considerable. Conforme muestra la última línea del cuadro 32, si en todos los domicilios se hubiera utilizado aparatos eléctricos en 1942 para refrigerar, guisar, calentar agua, planchar, etc., el consumo hubiera aumentado hasta 6 veces.

¹¹ Los clientes se identifican por facturas o por contadores de electricidad y no coinciden, por tanto, con las unidades "domicilio" que se encuentran en el censo.

CUADRO 32. *Uso doméstico de la electricidad.*

	Tanto por ciento de saturación		KWH por año y por aparato ^a	Consumo total anual en miles de millones de KWH	
	Enero 1, 1943 ^a	Enero 1, 1947 ^b		En 1942 ^a	Con saturación 100 % ^c
Iluminación y varios	—	—	—	9,38	15,00
Refrigeradores	71	69,1	300	6,05	8,52
Cocinas	12	13,0	950	3,19	26,59
Calentadores de agua	4	4,7	2,500	2,67	66,75
Radioreceptores y fonógrafos	100	90,4	80	2,18	2,18
Planchas	100	91,5	63	1,74	1,74
Quemadores de aceite	8	—	185	0,43	5,38
Máquinas lavadoras	50	60,5	24	0,32	0,64
Aspiradoras	60	58,9	20	0,33	0,55
Relojes	55	61,7	14	0,21	0,38
Máquinas de planchar	6	6,6	100	0,18	3,00
Otros aparatos	—	—	—	1,15	30,00 ^d
TOTAL	—	—	—	27,80	160,73

^a Edison Electric Institute, *Statistical Bulletin*, 1942, Nueva York, mayo de 1943. El "tanto por ciento de saturación" es una estimación del porcentaje del número total de domicilios norteamericanos equipados con el aparato en cuestión.

^b *Electrical Merchandising*, vol. 77, enero de 1947.

^c Estimado sobre la base del consumo y saturación reales en 1942.

^d El incremento supuesto se refiere principalmente a la electricidad utilizada para refrigeración del aire.

(Para un año posterior, el valor correspondiente sería quizás menor.) Compárese este resultado con lo que afirmamos antes: que si el precio de la electricidad para los consumidores particulares bajase de 25 a 22.5 milésimos y si la elasticidad de su demanda fuese 2, cabría esperar un incremento de demanda de 1.23 veces. Esta estimación de la elasticidad en 2 no parece excesivamente moderada a la luz de la estimación anterior de la saturación. Es muy poco probable que se llegue a una saturación absoluta de aparatos eléctricos en los hogares, o una sustitución completa del gas por la electricidad, como consecuencia simplemente de que el precio de la electricidad para el consumidor baje de 25 a 22.5 milésimos de dólar. Adviértase, en particular, que las más importantes posibilidades de un incremento de demanda de electricidad doméstica son las cocinas y los calentadores de agua eléctricos. En ninguno de estos casos puede actualmente competir la electricidad con el gas sobre la base del costo, excepto en áreas de precios excepcionalmente altos del gas manufacturado y precios inusitadamente bajos de la electricidad. Además, la

cocina eléctrica apareja una inversión inicial considerablemente mayor que la cocina de gas de calidad comparable. De ahí se sigue que, aunque existe un mercado potencial muy amplio para la electricidad doméstica por encima del consumo actual, la absorción de este mercado sobre la base tan sólo de una competencia de costos requeriría reducciones muy grandes de los precios de la electricidad con relación al precio del gas doméstico. Para estimar el aumento de demanda que resultaría de una disminución del precio al por menor desde 25 a 22.5 milésimos de dólar, una elasticidad de la demanda igual a 2 no resultaría ser un valor excesivamente moderado. (Para consumidores comerciales, este valor es probablemente demasiado alto.)

Podemos estimar ahora el límite superior probable del efecto global sobre el ingreso que seguiría a una reducción de 2.5 milésimos de dólar en el precio al por mayor de la electricidad. Aplicaremos para ello el método indicado en la etapa II en el supuesto de una elasticidad de la demanda igual a 1 para usos industriales de la electricidad y de 2 para fines no industriales.

Hemos visto que el aumento total del ingreso nacional atribuible a la reducción del costo de la electricidad no puede ser mayor que la cuantía de la reducción (2.5 milésimos de dólar por KWH) multiplicada por la demanda total de electricidad *después* de producirse la reducción del costo.

El consumo total de electricidad en 1946 ascendió a 240,000 millones de KWH. De acuerdo con las elasticidades de la demanda que hemos supuesto, vimos que el consumo industrial aumentaría en unos 45,000 millones de KWH y el no industrial en unos 25,000 millones de KWH, de suerte que el consumo total sería de cerca de 310,000 millones de KWH. En estas condiciones, el incremento total del ingreso nacional no superaría los 310×2.5 millones de dólares, es decir, aproximadamente Dls. 775 millones. Esto representa 0.4 % del ingreso nacional.

Incluso este resultado puede ocultar una sobrestimación, no solamente porque la elasticidad de la demanda de electricidad es probablemente inferior a la unidad, sino por otras dos razones. En primer lugar, la disminución probable del costo de la electricidad difícilmente llegará a ser de 2.5 milésimos —valor utilizado en el análisis que precede. En segundo lugar, cuando el aumento de la demanda de electricidad resulta de cambios en el proceso o en la localización, deberíamos valernos de menos de la reducción total de 2.5 milésimos al estimar la economía de recursos. Por consiguiente, debiera esperarse que en este caso el efecto sobre el ingreso sería menor que el producto obtenido de multiplicar la reducción del precio por la cantidad de electricidad consumida. Este punto fué examinado en la etapa III de la Sección A. 1.

En cambio, nuestras estimaciones pueden ser demasiado moderadas,

por tres razones. Primero, prescinden de los cambios de localización; segundo, no tienen en cuenta la introducción de nuevos procesos técnicos imprevistos que pueden crear enorme demanda de electricidad. Designaremos esta última posibilidad con el nombre de "efectos de gatillo", y que estudiaremos en la sección A. 3. Tercero, no hemos considerado la posibilidad de que el cambio de técnica pueda estimular el empleo de los recursos en la economía. Si el empleo de recursos antes de producirse el cambio no agotara su potencialidad, estaría claro que un empleo más completo de los mismos podría dar lugar a un aumento del ingreso. Aunque en la sección A. 4. prescindiremos de tales efectos en nuestro examen de la economía en su conjunto, dirigiremos a ellos nuestra atención al analizar los posibles efectos sobre una economía regional que son consecuencia de cambios en la localización de las industrias. Que el empleo actual esté por debajo del potencial puede deberse, en el país tomado en conjunto, a la lentitud con que los recursos, especialmente la mano de obra, se desplazan de uno a otro lugar; cuando un cambio en la técnica origina nuevas oportunidades de empleo en una región donde antes había poca actividad, el resultado puede ser una ganancia neta en la ocupación nacional. Trataremos este punto en la sección B. del presente capítulo.

3. "Efectos de gatillo".

Cabe aducir que los datos del pasado acerca de la elasticidad de la demanda de electricidad no se pueden proyectar hacia el futuro sin peligro, dado que pueden tener lugar "efectos de gatillo" al darse ciertos precios bajos de la electricidad. Entendemos por "efectos de gatillo" aumentos muy grandes de la demanda de electricidad producidos por pequeños cambios en su precio y que se manifestarían en ciertas aplicaciones nuevas de la electricidad, quizá todavía desconocidas.

Al contestar a esta objeción no necesitamos negar que con precios más bajos de la electricidad podrían ocurrir enormes incrementos del consumo de la misma y que, en ciertos niveles del precio, la elasticidad de la demanda de electricidad pudiera ser mucho mayor que la que hemos estimado sobre la base de los datos de años anteriores. Por ejemplo, si la electricidad fuese lo bastante barata para dar una clara ventaja económica al proceso del hierro poroso sobre los actuales métodos de fundición del hierro, el consumo de electricidad en aquel proceso y en los Estados Unidos podría ser de unos 150,000 millones de KWH al año.¹²

Pero nuestro interés presente se dirige sobre todo hacia el efecto de tales cambios sobre el ingreso nacional. Supongamos que el precio de equivalencia de la electricidad en el proceso del hierro poroso es inferior en

¹² Véase el capítulo X.

1.5 milésimos de dólar al precio actual. Entonces, como se indica en la nota 5, una reducción de 2.5 milésimos de dólar en el precio de la electricidad conduciría a un ahorro de 1 milésimo por KWH o, en el caso de que toda la industria del acero adoptase el nuevo método, a un incremento de ingreso nacional de solamente Dls. 150 millones (1 milésimo de dólar por KWH $\times$ 150,000 millones de KWH).

En esta estimación no hemos tomado en consideración un posible incremento ulterior en el consumo de la electricidad resultante de un incremento en el consumo del acero más barato. La reducción en el precio del producto será siempre menor, en tanto por ciento, que la reducción en el precio de la electricidad, incluso después de haberse alcanzado el punto de equivalencia entre los dos procesos, porque el costo de la electricidad es solamente una parte del costo total del producto. Por ejemplo, si un producto se fabrica mediante un proceso que consume electricidad de modo intensivo a Dls. 10 la tonelada, de los cuales Dls. 5 por tonelada representan el costo de la electricidad, una reducción del 50 % en el precio de esta última reducirá el costo del producto tan sólo en un 25 % (de Dls. 10 a Dls. 7.50). Si la elasticidad de la demanda del producto es igual a uno, la reducción del 50 % en el costo de la electricidad conduciría a un aumento de un 25 % en la demanda del mismo.

En términos más precisos, cabría esperar muy grandes efectos sobre el ingreso solamente si el abaratamiento de la electricidad provocase un gran incremento de la demanda del producto (y no meramente la sustitución del proceso con menor consumo de electricidad por el de mayor consumo). Pero un gran incremento de la demanda del producto tendrá lugar tan sólo si 1) su elasticidad de demanda es muy alta y 2) si, además, el costo de la electricidad es una parte muy importante del costo total de producción.

Los estudios empíricos de la segunda parte pusieron de manifiesto pocos casos, incluso en las industrias electroquímicas, en los que el costo de la electricidad constituye la parte mayor del costo total del producto, particularmente cuando la electricidad es barata. Las aplicaciones de la misma a la producción que podemos entrever, incluso en un horizonte relativamente distante y vago, requerirían, al parecer, un importante insumo de factores distintos a la electricidad. La aplicación industrial del calor y de la electricidad requieren estructuras y equipos relativamente complejos —por ejemplo, hornos o cubas electrolíticas— que suponen una importante inversión de capital por unidad de producto.

Consideremos de nuevo el ejemplo del proceso del hierro poroso. Se ha estimado (capítulo X) que el costo de capital (interés, depreciación y conservación) por tonelada de producto sería de Dls. 4.60. Supuesto que no hubiera otro gasto, el costo total del hierro poroso con la electricidad a 4 milésimos de dólar por KWH (2,440 KWH por tonelada de

hierro) sería de Dls. 14.36 por tonelada, de los cuales Dls. 9.76, es decir, aproximadamente el 68 %, corresponden al costo de la electricidad. Con la electricidad a 2 milésimos, el costo total se reduciría a Dls. 9.48 por tonelada, esto es, una reducción de cerca del 35 %. Al reducir el precio de la electricidad de 2 milésimos a 1 milésimo de dólar se reduciría el costo del hierro poroso de Dls. 9.48 a Dls. 7.04, es decir, aproximadamente el 26 %; la reducción en el precio de la electricidad de 1 a 0.5 milésimos por KWH reduciría el costo del hierro poroso de Dls. 7.04 a Dls. 5.82, esto es, en cerca del 17 %. Vemos así que el ir reduciendo sucesivamente el precio de la electricidad a la mitad conduce a un tanto por ciento de reducción cada vez menor en el precio del hierro poroso.

En los capítulos de la segunda parte expusimos cierto número de posibilidades de "efectos de gatillo" en lo que concierne al incremento de la demanda de electricidad. Pero nuestro presente análisis indica que, en lo que atañe al ingreso nacional, se producirían "efectos de gatillo" de considerable importancia sólo como consecuencia del descubrimiento de algún método que utilizase la electricidad en cantidades muy grandes por unidad de producto y los otros elementos de la producción en cantidades muy pequeñas por unidad. Puesto que no tenemos motivo para esperar que las nuevas aplicaciones de la electricidad no requerirán una importante inversión de capital por unidad de producto (dejando de lado la inversión requerida para producir electricidad) no es en modo alguno brillante la perspectiva de que ocurran cambios revolucionarios en los procesos técnicos que invalidasen por completo los métodos que hemos adoptado para estimar los posibles efectos sobre el ingreso.

4. Hipótesis económicas implícitas en las estimaciones del incremento de ingreso

Dos hipótesis que forman la base del análisis que precede requieren examen más detallado. En primer lugar, es cierto que la liberación de recursos mediante el abaratamiento de la energía aumenta el potencial productivo de la economía. Sin embargo, el que este mayor potencial conduzca efectivamente a un incremento de la producción depende del grado en que se ocupen los recursos de la economía antes y después de haber tenido lugar el cambio de tecnología. Si los principios de la teoría económica clásica son exactos, la flexibilidad de los precios acarreará un empleo completo de los factores de la producción lo mismo antes que después de tener lugar dicho cambio. Sin embargo, es precisamente en lo que concierne a este punto donde la teoría clásica ha sido fuertemente criticada en esos últimos años por aquéllos que arguyen que la flexibilidad de los precios, y particularmente la de los salarios, puede no conducir a una utilización plena de aquellos recursos y que el equi-

librio económico es del todo compatible con un empleo parcial de los mismos.

En segundo lugar, incluso si se pudiera producir la electricidad con el combustible nuclear a un costo más bajo que con el carbón, probablemente no será económico dismantelar inmediatamente las centrales generadoras existentes para reemplazarlas por centrales atómicas. Por lo tanto, los plenos efectos de este cambio, como el de cualquier otro cambio en la técnica, se manifestarán solamente después de que haya transcurrido mucho tiempo. Si bien la depreciación física real de las centrales existentes puede ser lenta, extendiéndose a lo largo de varias generaciones, la adopción de la nueva técnica podría resultar acelerada si es menester instalar nuevos elementos debido a un incremento en la demanda de energía o en la demanda asociada a ciertas áreas geográficas.

Las cuatro secciones que siguen estarán dedicadas a una ulterior exploración de estas dos hipótesis: *a)* que los recursos se utilizarán por completo y *b)* que la nueva técnica sustituirá efectivamente a la antigua sin retardo alguno.

a. LA OCUPACIÓN PLENA DE LOS RECURSOS. Un perfeccionamiento técnico en la industria de la producción de energía y de calor —la sustitución de otras fuentes de energía por combustible nuclear— permite un aumento del ingreso real de una economía, porque con ello se liberan nuevos recursos, bien sea en la propia industria de la producción de energía y de calor, bien en industrias que los consumen directa o indirectamente. Pero ¿estamos en lo cierto al suponer que se ocuparán los recursos que se ponen así en juego? ¿No cabe concebir que simplemente se desperdiciarán, que no serán empleados?

Hace tiempo que se ha hecho notar que un progreso técnico en una industria determinada podría producir “desempleo tecnológico” en ella. Así, en la industria del carbón bituminoso el incremento relativo del consumo de carbón, en coincidencia incluso con un crecimiento de la población, no se ha mantenido a la par con el desplazamiento de mineros que trae consigo la mayor mecanización en las minas. Análogamente, la invención del tractor ha dado como resultado la eliminación tecnológica de caballos y de los pastizales.

A menos que exista un incremento compensador en la producción, un perfeccionamiento técnico en una industria conducirá siempre a reducir el empleo de, por lo menos, algunos de los factores de producción de la misma. Conforme señalamos en el capítulo I, la inversión directa por kilovatios en una central de energía atómica será probablemente mayor que en las instalaciones corrientes a base de energía térmica, pero en cambio será menor la cantidad de trabajo por KWH (dado que el tra-

bajo es el componente principal en los costos de la producción carbonífera).

Todo esto carecería relativamente de consecuencias (no sin que dejara de tener importancia para las particulares ocupaciones afectadas) si pudiéramos tener la seguridad de que el trabajo desplazado habría de verse absorbido por el mayor consumo de energía o por el aumento de producción en otras industrias. De acuerdo con lo dicho más arriba, si la teoría económica clásica es exacta, esta absorción tendrá realmente lugar, mientras que si están en lo cierto las teorías más recientes keynesianas tal absorción no tiene por qué ocurrir necesariamente, a menos que el gobierno adopte las medidas adecuadas.

Dado que no parece posible estimar la magnitud de la desocupación y puesto que esta magnitud estaría afectada por políticas gubernamentales desconocidas en el presente, debemos limitarnos a estimar la productividad potencial de la economía, es decir, el ingreso nacional que *podría* producirse si se empleasen todos los recursos.

Con todo, una de las causas de la desocupación de recursos nacionales es su imperfecta movilidad. La mano de obra, especialmente, es a menudo lenta en abandonar áreas de depresión para trasladarse a otras con oportunidad de ocupación. Si por el abaratamiento del calor y la electricidad se estimulan nuevas industrias en áreas antes empobrecidas, el resultado será una ganancia en el empleo de los recursos de la nación en su conjunto. Más adelante (sección B. 3 de este capítulo) se examinarán otros pormenores del problema de la localización.

En el resto de nuestro análisis procederemos partiendo del supuesto de que la ocupación de los recursos es plena antes y después de la introducción de la energía atómica, salvo cuando se indique expresamente lo contrario. No examinaremos si este resultado se consigue por la acción “automática” del mecanismo económico o por intervención gubernamental.¹⁹

b) COSTOS DEL CAPITAL INMOVILIZADO. El hecho de que, por lo menos en ciertas localidades, se pueda producir energía a un costo promedio más bajo en una central atómica que en una central que utilice el calor procedente de la combustión del carbón no significa que las centrales ya existentes de este último tipo deban desaparecer en favor de instalaciones atómicas. Puesto que los costos “inmovilizados” de construcción de las centrales térmicas existentes a base de carbón han sido ya desembolsa-

¹⁹ Aunque, en consecuencia, haremos caso omiso del desempleo de recursos, no dejaremos de lado posibles cambios en la cantidad de los recursos empleados, es decir, cambios en el volumen de la mano de obra debido al crecimiento de la población, el trabajo infantil y el alargamiento o acortamiento de la semana de trabajo, y cambios en la tasa de acumulación del capital y, por consiguiente, en el acervo de capital disponible.

dos y no pueden rescatarse, hay que prescindir de los mismos al comparar la economía relativa de una instalación existente con la de una nueva central atómica. A corto plazo, el paso a la energía atómica será ventajoso sólo si los costos variables de la planta que utiliza carbón superan los costos totales de la instalación atómica.

Supongamos, por ejemplo, que se puede producir electricidad en una central atómica a un costo total de 4 milésimos de dólar por KWH (capítulo I, C. 2.b), mientras que el costo total en la que funciona con carbón es de 7 milésimos (3.3 milésimos para interés y depreciación de la inversión de la central y otros gastos fijos y 3.7 milésimos para combustible, mano de obra y otros gastos variables). Si hay que construir una nueva central, evidentemente sería preferible construir una de tipo atómico a una que utilice carbón. Sin embargo, no resultará provechoso reemplazar una de éstas por una instalación atómica, puesto que el único costo adicional (aparte la inversión ya efectuada) en la producción de electricidad por la central que adopta el carbón como combustible es de 3.7 milésimos de dólar por KWH, mientras que una central atómica nueva exigiría un desembolso de 4 milésimos.

En una situación como ésta, ¿tendrá lugar la sustitución del primer tipo de central por el segundo? Probablemente así ocurrirá con el tiempo, pero existe cierto número de factores que determinarán el ritmo al que se efectúe la sustitución. El primero de éstos es la depreciación física. Hemos supuesto, claro está, que los costos de conservación y reparación están incluidos entre los costos variables de la central que utiliza carbón. Sin embargo, puede llegar un momento en que los costos de conservación crezcan rápidamente debido a la edad del equipo o en que se haga necesario reemplazar ya componentes sustanciales del mismo. Llegadas las cosas a este punto acaso resultara más provechoso dejar que la instalación se desgaste por completo y sustituirla luego por una central atómica que emprender reparaciones de importancia.

Hasta aquí nuestro análisis se ha basado en la distinción entre costos fijos, o "inmovilizados", y costos variables. Con todo, debemos hacer notar que un costo que es variable con relación a la central productora de energía acaso sea un gasto fijo para algún otro sector de la economía. Por ejemplo, los costos de combustible son costos variables para la estación generadora de energía, pero en tanto representan gastos de inversiones en los ferrocarriles y las minas de carbón, los costos del combustible son costos fijos desde el punto de vista de la economía en su conjunto. Por lo tanto, el efecto inmediato de la competencia provocada por la energía atómica pudiera ser la reducción del precio del carbón (lo que conduciría a una menor recuperación de la inversión en ferrocarriles y minas) y con ella el diferir el paso al nuevo método de producción de energía.

No intentaremos aquí estimar cuantitativamente el período de tiempo que sería necesario para que las plantas atómicas llegasen a reemplazar sustancialmente las basadas en la combustión del carbón un vez proyectada una instalación atómica con un costo promedio inferior a las de la segunda clase. En el caso de una economía que se desarrolla en moderadas proporciones, como por ejemplo la de los Estados Unidos, la mayor parte de las centrales que utilizan carbón seguirían en funcionamiento probablemente durante una e incluso dos generaciones. En cambio, en una área poco desarrollada que entra en un período de industrialización, cabe esperar que prácticamente todas las nuevas instalaciones generadoras utilizarían energía atómica, supuesto que esta última forma de energía se podría producir en dicha área a un costo medio inferior al de la energía procedente de las fuentes ordinarias de energía.

Cuando se estimen cuantitativamente los efectos de la disponibilidad de electricidad barata sobre una economía, estas apreciaciones serán aplicables a un período en el que la nueva tecnología ha substituído ya a la antigua. Para el período intermedio, mientras tiene lugar el paso de una a otra, los efectos se incrementarán gradualmente a partir del valor cero hasta alcanzar su plena magnitud a medida que un tanto por ciento cada vez mayor de electricidad se produzca en las nuevas centrales.

Las mismas consideraciones valen donde el cambio de técnica induce una relocalización de la industria, y cabe esperar que en el caso de las industrias con costos fijos elevados se producirán aplazamientos en la relocalización que serán del mismo orden general de magnitud que en el cambio de estaciones generadoras a base de carbón a centrales atómicas.

5. Las repercusiones a largo plazo

Hasta aquí nuestro estudio tuvo sólo por materia algunas consecuencias, relativamente a corto plazo, del abaratamiento de la energía. A decir verdad, incluso estos efectos puede que no alcancen su pleno desarrollo hasta transcurrido cierto número de años, y ello es así por razón del lapso que habría de transcurrir hasta que las instalaciones atómicas hubieran substituído por completo a las actuales centrales generadoras. Además, aun los efectos a corto plazo pueden igualmente originar importantes repercusiones sobre la economía que se extiendan a lo largo de un período más dilatado, de una o más generaciones. Estos posibles efectos a largo plazo incluyen los siguientes:

- a. Cambios en la tasa de acumulación del capital.
- b. Cambios en la población y en el volumen de la mano de obra.
- c. Cambios en la tecnología.

a) CAMBIOS EN LA TASA DE ACUMULACIÓN DEL CAPITAL. Hemos visto que la proporción en que se puede incrementar el consumo de energía está limitada por el hecho de que dicho consumo requiere maquinaria y otro equipo de capital. En tanto la cuantía de capital disponible sea independiente de la baratura de la energía, no es de esperar que los efectos sobre el ingreso sean muy grandes.

Sin embargo, si los recursos ahorrados mediante el abaratamiento de la energía permiten un incremento del ingreso de una economía, este incremento puede conducir a su vez a una acumulación de capital más rápida de la que de otro modo hubiera tenido lugar. El mayor acervo de capital conducirá a su vez a un incremento adicional de la productividad de la economía. Dado que los ahorros aumentan por lo general más rápidamente de lo que correspondería a la mera proporcionalidad con el ingreso, un incremento del ingreso anual de sólo 1 % puede conducir a un incremento de la tasa anual de acumulación de capital de varios tantos por ciento. Además, dado que estos efectos son acumulativos, pueden alcanzar un considerable orden de magnitud con el correr de los años, de manera muy semejante a lo que ocurre con el interés compuesto. En contra de esto actuará la tendencia decreciente de la productividad marginal del capital a medida que éste llega a ser más abundante relativamente a la mano de obra y a la tierra.¹⁴

b) CAMBIOS EN LA POBLACIÓN Y EN EL VOLUMEN DE LA MANO DE OBRA. Tan sólo muy imperfectamente se conoce el movimiento de la población ante los cambios en el ingreso *per capita* y otras fuerzas económicas. En los países que cuentan ya con un elevado ingreso *per capita*, la tasa de natalidad es con frecuencia apenas suficiente para mantener el nivel de población y un aumento en dichos ingresos puede adelantar la fecha en que se establezca la población o empiece a decrecer. Además, una productividad elevada puede conducir a una disminución del volumen de la mano de obra a causa de la disminución del número de niños, mujeres casadas y personas de edad relativamente avanzada que se encuentran empleadas —lo que equivale a la sustitución de un mayor consumo por ocio.

En una economía que se ha encontrado cerca del nivel de subsistencia, las consecuencias de un incremento de la productividad pueden ser casi por completo opuestas. Un incremento transitorio de los ingresos reales puede reducir el coeficiente de mortalidad hasta tal punto que dé lugar, en ausencia del control de natalidad, a un rápido incremento de la

¹⁴ La productividad marginal del capital no decrece necesariamente con el aumento del mismo. Cuando el capital es más abundante se pueden conseguir economías acudiendo a métodos que utilicen máquinas en gran escala, con el consiguiente incremento del rendimiento. Esto es más probable en una economía en la que el capital ha sido escaso que en una que se encuentre ya altamente mecanizada.

población y a una presión renovada de ésta sobre los recursos productivos. Además, un aumento de productividad en tal economía puede llevar a un incremento de la demanda de artículos con lo cual puede resultar de aquél un incremento efectivo en el volumen de la mano de obra mediante un mayor número de horas de trabajo, el trabajo infantil y el empleo de mujeres y personas de edad avanzada.

Pueden citarse ejemplos históricos de todas estas posibilidades que acabamos de mencionar. Los efectos del incremento de productividad sobre la población son en particular importantes para las economías de subsistencia y se verán con mayor detenimiento en el próximo capítulo.

c) REPERCUSIONES A LARGO PLAZO: CAMBIOS EN LA TECNOLOGÍA. Si la necesidad es la madre de la invención, el padre tal vez sea la oportunidad. Se cree generalmente que la invención de la máquina de vapor estimuló en gran medida la invención y perfeccionamiento de la maquinaria que consume energía al proporcionar por vez primera una fuente barata de la misma. Por lo tanto, muy bien puede ocurrir que un ulterior abaratamiento de la energía estimule la invención de nuevos dispositivos de producción o consumo que emplearían grandes cantidades de energía. Este resultado aumentaría considerablemente el efecto sobre el ingreso nacional, efecto que, en ausencia de esa clase de cambios, hemos considerado sería moderado o pequeño.

Sin embargo, debe señalarse que el costo de la energía es en la actualidad una parte tan pequeña del costo de emplear aparatos que la consumen que un abaratamiento adicional no estimularía grandemente el uso de la energía. Por ejemplo, una reducción adicional en el costo de la misma no ofrecería probablemente un estímulo a la invención de igual magnitud que el que ofreció en su tiempo la introducción de la máquina de vapor.

Las posibilidades a largo plazo que venimos considerando son de naturaleza tan hipotética que sería ocioso especular sobre su magnitud. En general, pueden conducir a un cierto aumento gradual del ahorro inicial de recursos, que cobrará importancia únicamente después de transcurrido considerable número de años.

B) POSIBLES EFECTOS SOBRE LA LOCALIZACIÓN

Hasta aquí hemos considerado cómo la energía a bajo costo puede incrementar directamente la producción global de una economía. Hemos visto que la disponibilidad de energía barata en cualquier lugar puede provocar el cambio de localización de ciertas industrias al eliminar las diferencias existentes en los costos de aquélla. Aparte del efecto de este desplazamiento de los centros de producción sobre la productividad na-

cional, pueden presentarse importantes efectos sobre la distribución geográfica de la población y la industria y sobre el desarrollo económico de regiones particulares dentro de la economía.

Un área en la que son elevados los costos de la energía, pero que posee otras ventajas locacionales, como la proximidad a los mercados o a las materias primas, puede atraer nuevas empresas si se llega a poder disponer de energía a bajo costo. Con esto otras industrias podrían trasladarse a esa localidad, o porque están vinculadas a las primeras empresas o porque se han creado nuevos mercados locales.¹⁵ Una estimación del incremento total de actividad industrial en la nueva ubicación debe tomar en cuenta estos efectos "multiplicativos". Al analizarlos debemos tener buen cuidado en distinguir entre el cambio de equilibrio parcial para una localidad e industria determinadas y la repercusión sobre la economía en su conjunto. Conforme veremos, pueden tener lugar en toda la economía reajustes que reforzarán o anularán parcialmente los efectos del cambio de localización.

Podemos seguir la cadena de efectos sobre la región y sobre la economía de esta manera general: la ocupación en una industria particular se desarrolla en cierta región debido a un mayor descenso en ella de los costos de la energía que en otras regiones. Esta expansión puede ser muy grande, incluso sin que ocurra cambio alguno en la producción total de la industria en la economía considerada como un todo. A menos que la acompañe una tendencia a una expansión global de la industria en cuestión o de otras industrias, el incremento en una región estará compensado por disminuciones en aquellas en que antes se encontraba la industria. (El desplazamiento de las manufacturas de algodón desde Nueva Inglaterra al Sur de Estados Unidos constituye un importante ejemplo de lo que venimos diciendo, si bien en este caso los cambios en los costos de la energía no fueron la causa directa de dicho traslado.) La expansión en una región conduce a una serie de efectos "multiplicadores".

1. También las industrias que utilizan los productos de la industria relocalizada como materias primas pueden verse atraídas a la nueva región. Llamaremos a esto el "multiplicador de producción".

¹⁵ En toda esta sección cuando hablamos de "traslado" o "relocalización" de una industria usamos esta terminología para abreviar y no se pretende con ello implicar que el cambio de ubicación tiene lugar ordinariamente por un traslado real de las fábricas existentes o su sustitución inmediata por nuevas fábricas. Salvo en casos muy excepcionales, las fábricas ya existentes continuarán funcionando hasta tanto no se haya depreciado la inversión en ellas y la localización tiene lugar solamente a medida que se construyen las nuevas fábricas para reemplazar a las depreciadas u obsoletas, o para atender al crecimiento de la industria. Las fábricas antiguas en los primitivos centros funcionarán en condiciones desventajosas de competencia y pueden llegar a ser insolventes durante períodos de poco movimiento comercial (por ejemplo, las fábricas textiles de Nueva Inglaterra durante la depresión de la cuarta década) apresurando así el cambio de ubicación.

2. Las industrias que producen artículos para las industrias relocalizadas (por ejemplo, maquinaria textil) pueden a su vez cambiar de lugar. Llamaremos a esto el "multiplicador de bienes de producción".

3. Estos cambios de localización de las industrias producirán un incremento de ingresos en la nueva región, bien sea por inmigración de población a la misma, o por el movimiento de la población trabajadora de la agricultura a la industria, o por ambos motivos a la vez. Llamaremos a este efecto el "multiplicador de consumo" del desplazamiento inicial de ubicación. Cuando la nueva fuerza de trabajo se obtiene principalmente a expensas de mano de obra agrícola, puede tener lugar una más eficiente utilización de los recursos de trabajo en la economía en su conjunto y esto a su vez aumentará la productividad total de la economía, además de producir el efecto de expansión antes examinado. Es ésta una importante razón por la que el incremento de la producción en la nueva región puede hacer compensar con creces cualquier disminución de la misma en las regiones en que la industria estaba localizada antes.

4. La demanda de bienes de capital se verá grandemente estimulada en la nueva región, sobre todo durante el período en que tiene lugar el cambio de localización. Se instalarán y construirán casas, fábricas, carreteras, servicios públicos y maquinaria. En una economía en que hay ocupación plena de los recursos, esto significaría, simplemente, que en la nueva región tendrá lugar una inversión que en otro caso se habría producido en otras regiones. En una economía que sufra de "estancamiento" —subempleo de recursos debido a la falta de oportunidades de inversión adecuadas— la relocalización puede incrementar el empleo de los recursos y conducir así a un incremento adicional de la producción de la economía en su conjunto. Llamaremos a esto el efecto del "multiplicador de equipo de capital". En tanto el nuevo capital se suministre localmente, el multiplicador de equipo de capital incrementará a la postre la actividad económica en la nueva región; en tanto el capital se importe de otras regiones, la producción en éstas se verá estimulada.

Es difícil estimar la magnitud de estos efectos, sobre todo de los que están vinculados al subempleo de los recursos. Sin embargo, posee un cierto interés al estimar su importancia potencial aunque sea de manera muy tosca. Seguirá a ello un examen de las fuentes de la nueva fuerza de trabajo requerida para incrementar la producción regional.

1. El multiplicador de producción

El proceso de transformación de las materias primas en artículos para el consumo tiene lugar, por lo general, en una sucesión de etapas una o más de las cuales puede acarrear una reducción del peso, un incremento o disminución del tamaño o un aumento o disminución en sus propieda-

MULTIPLICADOR DE BIENES DE PRODUCCIÓN

MULTIPLICADOR DE CONSUMO

MULTIPLICADOR DE EQUIPO DE CAPITAL

Efectos que causan

relocalización de industrias

des de conservación. Un ejemplo de ese proceso lo constituye el desmotado, hilado y tejido del algodón hasta llegar a la manufactura del vestido. Otro ejemplo es la extracción del mineral de hierro, la fundición, fabricación y laminación del acero y la fabricación de maquinaria agrícola. El examen de la distribución geográfica de los eslabones de cualquiera de esas cadenas de industrias revela generalmente que los primeros se encuentran cerca de las fuentes de materias primas, los últimos se sitúan cerca de los mercados y los eslabones intermedios se encuentran a su vez en localizaciones intermedias.

El cambio de localización de cualquiera de los eslabones en una de ellas tendería a arrastrar *a)* los eslabones anteriores que estaban orientados hacia el mercado y *b)* los eslabones subsiguientes que estaban orientados hacia la materia prima. Conviene notar que en aquellos casos en que dos industrias están unidas de esta manera por factores de localización, las ventajas relativas a localidades que compiten entre sí se pueden comparar tan sólo cuando se toman conjuntamente una y otra industrias. El traslado de la primera industria a un lugar más ventajoso puede resultar impedido por las desventajas (por ejemplo, mayor distancia a los mercados) que dicho lugar presenta para la segunda. Además, dado que ambos componentes deben trasladarse a la vez para conservar las ventajas de su mutua vinculación, una ventaja locacional grande para la primera industria puede carecer de importancia para las dos consideradas juntas.

2. El multiplicador de bienes de producción

La ubicación de una industria cuyos productos son utilizados por otras (por ejemplo máquinas herramientas) corresponderá en cierto modo al módulo de esas otras industrias. Sin embargo, es también difícil estimar la magnitud del multiplicador que aquí entra en juego, porque buena parte de las industrias en cuestión están relativamente "sueltas" —es decir—, la ventaja de localizarlas cerca de sus mercados no es decisiva.

La fabricación de maquinaria textil en Estados Unidos, por ejemplo, se encuentra muy concentrada en Nueva Inglaterra, la más antigua área textil manufacturera, parte de la cual ha emigrado ya hacia el Sur. La manufactura de maquinaria agrícola aparece concentrada en los estados industriales del centro —Illinois, Wisconsin, Indiana, Minnesota, Iowa y Kentucky— a mitad de camino entre las regiones agrícolas y las zonas occidentales productoras de acero. En lo que concierne a las áreas "poco desarrolladas", la falta de capacidad técnica, de capital y del complejo básico hierro-acero sigue exigiendo la importación de maquinaria textil, incluso mucho después de haberse establecido en gran escala una industria textil local.

En cambio, las industrias de materiales para la construcción y la pro-

pia industria de la construcción están en gran parte orientadas hacia el mercado. Tanto una como otra entran, claro está, en los multiplicadores de bienes de producción y de bienes de consumo y se examinarán más detenidamente en relación con el último. Además, estas actividades resultarán considerablemente estimuladas durante el período en que tenga lugar la relocalización de industrias y requieren consideración especial como importante componente del multiplicador de equipo de capital.

3. El multiplicador de consumo

Cabe hacer una estimación bastante definitiva del multiplicador para los artículos de consumo orientados hacia el mercado. La construcción, la comunicación y el transporte, el comercio al por mayor y al por menor, los servicios personales, los servicios profesionales, el gobierno y ciertas industrias manufactureras están todos íntimamente relacionados con la distribución de la población consumidora. De los 10.573,000 habitantes empleados en las manufacturas en Estados Unidos en 1940, quizá entre 1.750,000 y 2.000,000 trabajaban en industrias orientadas hacia el mercado. A éstos deben añadirse cerca de 24.250,000 habitantes clasificados en las categorías no manufactureras antes enumeradas.¹⁶ Así, de la población total empleada en este año (unos 45 millones) un 58 % trabajaba en industrias y ocupaciones orientadas hacia el mercado. Sobre esta base podríamos estimar un multiplicador de consumo para la agricultura y para las otras industrias (las que no se orientan hacia el mercado) de cerca de 2.5 —esto es—, la ocupación total es 2.5 veces la ocupación en aquellas industrias no orientadas hacia el mercado.

Valiéndose de una clasificación algo diferente, el Comité Nacional de Recursos clasificó el total de 41.4 millones de habitantes empleados en 1935 como sigue: 11.5 (28 %) en industrias situadas cerca de los recursos primarios; 10.2 (25 %) en industrias relativamente "sueltas" (es decir, aquellas que no están sujetas a una marcada atracción hacia las materias primas o hacia los mercados); y 19.7 (48 %) en industrias situadas cerca del consumidor.¹⁷ El multiplicador de consumo es, en este caso, igual a 2 aproximadamente. Sin embargo, esta estimación atribuye solamente 887,000 habitantes a las industrias manufactureras que se encuentran cerca del consumidor en vez de los 1.750,000 que hemos estimado.

Daly llevó a cabo, para ciertas áreas de Inglaterra, una evaluación de este multiplicador usando métodos ligeramente diferentes. Su multipli-

¹⁶ Estas cifras son estimaciones más bien toscas basadas en un examen de la clasificación detallada del volumen de ocupación por industrias que aparece en el censo de 1940 y en datos que se encuentran en Gordon, *op. cit.*, los cuales indican cuáles son las industrias en gran parte orientadas hacia el mercado.

¹⁷ *The Structure of the American Economy*, parte I, Washington, 1939, p. 36.

cador es una suma de los multiplicadores de bienes de producción y de consumo que hemos examinado aquí.¹⁸ Daly llega a un multiplicador de 2.3 aproximadamente.

En modo alguno hay que suponer que un multiplicador igual se aplicaría a áreas fuera de Gran Bretaña y de Estados Unidos. Colin Clark ha presentado estadísticas relativas al número de personas que se dedican a actividades primarias, secundarias y terciarias en varios países. Las actividades primarias incluyen la agricultura, la pesca y la explotación forestal. Las secundarias comprenden la manufactura, la industria de la construcción, la minería y la producción de energía eléctrica. Las actividades terciarias enumeran todas las demás industrias —principalmente los servicios, el transporte y el gobierno.¹⁹ La magnitud de estas últimas nos dará una medida aproximada del multiplicador de consumo en un país cualquiera. La estimación resultante será, por lo general, demasiado baja, puesto que, conforme hemos visto, una fracción considerable de la ocupación en las industrias manufactureras, de la construcción y de la energía eléctrica está orientada hacia el mercado. Clark descubre íntima relación entre el ingreso real de un país por persona ocupada y su producción terciaria por persona ocupada; la producción terciaria aumenta más rápidamente que el ingreso real. Para el período 1925-1934 da los siguientes porcentajes de la población total que trabaja en la producción terciaria: Estados Unidos, 45.8 %; Gran Bretaña, 43.9 %; Francia, 35.5 %; Canadá, 45.1 %; Irlanda, 33.9 %; Estonia, 24.1 %; Hungría, 21.8 %; Rumania, 15.0 %; Australia, 44.4 %; India, 20.8 %; Japón, 30.2 %; Nueva Zelanda, 48.7 %. Si el multiplicador 2 es aproximadamente exacto para los Estados Unidos, cabe esperar multiplicadores tan bajos como 1.5 y 1.2 para el Japón y la India, respectivamente.

a) EL EFECTO-INGRESO Y EL MULTIPLICADOR DE CONSUMO. Cuando la relocalización industrial aumenta el rendimiento mediante redistribución del trabajo, el desplazamiento geográfico puede llevar consigo no sólo un multiplicador de consumo para la nueva región de industrialización (y una disminución correspondiente del consumo en el área de que partió la emigración), sino también un multiplicador de consumo para la economía en su conjunto debido al más elevado ingreso total. En consecuencia, tendría lugar un crecimiento general de la industria. Se trató ya de este punto en la sección A.4.a. de este capítulo.

El alcance de la industrialización orientada hacia el mercado (inclu-

¹⁸ M. C. Daly, "An Approximation to a Geographical Multiplier", *Economic Journal*, vol. 50, junio-septiembre de 1940, p. 254.

¹⁹ C. Clark, *The Conditions of Economic Progress*, Londres, MacMillan and Co., 1940, pp. 337-38.

yendo tanto las industrias de bienes de producción como las de artículos de consumo) en la nueva región resultará asimismo muy afectado por el conjunto de la población atraída hacia dicha área y el incremento conjunto de ingreso que en ella se genere. La mayor parte de las industrias, por lo menos hasta cierto punto, se encuentran sujetas a economías de explotación en gran escala. Un área industrial pequeña y aislada o un área con ingresos de bajo consumo puede continuar importando artículos que, si la demanda local fuese mayor, se podrían producir dentro de la propia área. Por ejemplo, cabe esperar que la industrialización de las zonas costeras del Brasil, industrialización que exigiría varios millones de trabajadores, atraería proporcionalmente más industrias orientadas hacia el mercado que la explotación de una fuente específica de mineral en Rhodesia que empleará unos pocos millares de trabajadores.

A igualdad de otras circunstancias, el que los costos de transporte a una región sean elevados provocará un mayor grado de autosuficiencia en los artículos orientados hacia el mercado que el que estimularían los bajos costos de transporte. Por ejemplo, la industrialización del interior de China podría conducir a un multiplicador local de consumo más grande que el que resultaría del correspondiente incremento en las áreas costeras. Sin embargo, la mejoría de los medios de transporte en dicho país podría ser incluso más favorable para el multiplicador de consumo relativo a la nación en su conjunto, porque únicamente de esta manera se podrían realizar las economías de la producción en gran escala.

4. El multiplicador de equipo de capital

Consideremos finalmente el posible valor del multiplicador de equipo de capital. Este multiplicador, si bien íntimamente relacionado con el multiplicador de bienes de producción, merece un estudio especial porque es característico de áreas en expansión o de nuevo desarrollo y porque algunos economistas han insistido en su importancia para el mantenimiento de la plena ocupación.

El multiplicador de equipo de capital será el máximo en una región en que el capital se utiliza de modo intensivo en la industrialización, y el transporte y otros medios se encontraban escasamente desarrollados antes de la industrialización y, finalmente, ésta produce un gran movimiento de población, aunque consista tan sólo en la emigración de las zonas agrícolas a las ciudades. Donde se dan juntos estos elementos, la industrialización requiere la construcción de nuevas casas, almacenes y fábricas y la manufactura o la importación de maquinaria.

Se ha estimado que el equipo de capital (edificios y equipo incluyendo residencias y servicios) en una economía cualquiera es igual a 3

ó 4 veces la producción anual.²⁰ Por lo tanto, cabe deducir de ahí que cuando una población industrial se traslada a una nueva región se requiere un capital que asciende al equivalente de, por lo menos, la producción de 3 años-hombre por cada persona empleada. Parte de este capital (la construcción de edificios, por ejemplo) debe producirse en la nueva localidad, mientras que otra parte (por ejemplo, la maquinaria) puede importarse de otras áreas.²¹

La relación entre el multiplicador de equipo de capital y la ocupación plena sólo puede mencionarse brevemente aquí. Conforme hemos señalado antes en este capítulo, el cambio en la técnica acarrea, por lo general, que una cantidad dada de artículos se pueda producir con un gasto menor de recursos y que los recursos así ahorrados queden sin utilizar a menos que intervenga el gobierno. Sin embargo, a corto plazo el cambio tecnológico puede aumentar efectivamente el empleo de recursos que aun no se empleaban por completo. El llevar a la práctica los cambios en la técnica requiere la construcción de nuevo equipo de capital, y, por consiguiente, proporciona nuevas oportunidades de inversión. Algunos economistas (por ejemplo, Hansen y Schumpeter en Estados Unidos) han considerado que estas salidas que se ofrecen a la inversión son un estímulo fundamental para el desarrollo económico. Si éste es el caso, debiéramos esperar que el efecto fuese particularmente pronunciado cuando el cambio tecnológico, al traer consigo la relocalización de la industria, exija que se lleve a las áreas de nueva industrialización un nuevo acervo de equipo de capital.

5. Fuentes de la nueva mano de obra

La mano de obra en una nueva región industrial se puede obtener de personas desocupadas, de personas antes empleadas en la industria en otra parte y que se trasladan a dicha región, de personas antes dedicadas a labores agrícolas o del incremento natural de la población que se encuentra en edad de trabajar, resultante de cambios en los coeficientes de natalidad y defunciones. Cualquier incremento del ingreso que resulte de la obtención de fuerza de trabajo de la segunda de esas fuentes quedaría aproximadamente compensado por una disminución de ingreso en alguna otra región; pero si el trabajo se obtiene de la primera, tercera o cuarta

²⁰ Clark, *The Economics of 1960*, Londres, MacMillan and Co., 1943, pp. 72-87; Clark, *Conditions of Economic Progress*, op. cit., pp. 389-395.

²¹ Incluso cuando el capital se produce a lo largo de un período de varios años, es menester aplicar un multiplicador relativamente elevado a toda la población de la nueva área: en el caso de dos años, un multiplicador igual a $(3 \div 2) + 1 = 2.5$ más o menos; en el caso de 3 años, un multiplicador aproximadamente igual a $(3 \div 3) + 1 = 2$.

fuentes puede tener lugar un incremento neto del ingreso producido en la economía.

Es necesario examinar más detenidamente la tercera de estas cuatro posibles fuentes de mano de obra. Se ha hecho observar a menudo que generalmente la productividad en la agricultura (medida por el valor monetario neto de producto por persona empleada) es mucho menor que en las actividades secundaria y terciaria. Colin Clark ha presentado datos con vistas a mostrar que dicha relación es válida para la mayor parte de los países.²²

Tres por lo menos son las causas que cooperan para originar este resultado, de las cuales dos son compatibles con el equilibrio económico. En primer lugar, la agricultura requiere por lo general menos capital que la manufactura. En segundo lugar, el costo de la vida es generalmente más bajo en las áreas rurales que en las urbanas.²³ Los datos que presenta Clark indican que en modo alguno reside en esto toda la explicación. En tercer lugar, la mayor parte de los países han venido experimentando un aumento relativo en las ocupaciones secundarias y terciarias y, a causa precisamente de la imperfecta movilidad del trabajo, ello ha incrementado los salarios relativos en estas ocupaciones.²⁴

Debido a esta tercera causa de disparidad en los salarios, cualquier cambio que incremente la movilidad de la mano de obra conducirá a una distribución más eficaz de los recursos e incrementará el ingreso de la economía en su conjunto. Al localizar nuevas industrias en regiones que sufren en este sentido de sobrepoblación agrícola, se reducen las barreras que la necesidad de emigrar a grandes distancias interpone al tránsito de la población de la agricultura a la industria, y se incrementa con ello la movilidad del trabajo.

Con esto hemos examinado en sus pormenores los diferentes efectos "multiplicadores" conforme a lo esbozado al comenzar esta sección, efectos que acompañan a la relocalización de una industria determinada. Podemos ver ahora que si bien son tan sólo unas pocas las industrias que se han identificado definitivamente, en la segunda parte de este estudio, cuyo cambio de localización pudiera ocurrir si se dispusiera de energía atómica, ya el traslado de las mismas acarrearía importantes consecuen-

²² Clark, *The Economics of 1960*, op. cit., p. 38.

²³ Clark, *Conditions of Economic Progress*, op. cit., p. 342.

²⁴ Debido a la mayor elasticidad-ingreso de la demanda para los productos industriales que para los agrícolas, un incremento cualquiera de productividad en la agricultura y en la industria producirá inevitablemente este resultado. (Véase Herbert A. Simon, "Effects of Increased Productivity Upon the Ratio of Urban to Rural Population", *Econometrica*, vol. 15, enero de 1947). Los observadores están de acuerdo en reconocer la imperfecta movilidad de la mano de obra, particularmente en el Lejano Oriente. Una prueba más de la exactitud de esta explicación es el hecho de que no existe disparidad alguna de salarios en Australia, donde la movilidad de la mano de obra es grande y donde no ha venido decayendo la producción agrícola.

cias. A la relocalización de la industria en cuestión debe añadirse: el cambio de ubicación de las industrias vinculadas localmente a aquélla; el traslado de industrias de bienes de producción; el de industrias de artículos de consumo orientadas hacia el mercado; y la inmediata demanda de nuevo equipo de capital en el área a que se lleva la industria. El efecto que todo esto tenga sobre el resto de la economía dependerá de los recursos adicionales que se lleven al proceso de producción mediante el cambio de localización, bien sea por el paso de la mano de obra agrícola menos productiva al empleo industrial o debido a un aumento de la ocupación de los recursos mediante el estímulo que proporcionan las nuevas oportunidades de inversión.

C) ALGUNAS CONCLUSIONES GENERALES

Hemos considerado en este capítulo los efectos de la introducción de energía atómica barata, disponible en todas partes, sobre la economía de una nación o de una región. En el párrafo que precede se han resumido nuestras conclusiones tocante a los efectos del cambio de localización de industrias particulares sobre la región a que éstas se llevan. Incluye esto también los efectos sobre la economía nacional que resultan de una ocupación más plena de los recursos de una región. Estos deben añadirse a los otros efectos de carácter nacional que resumiremos a continuación según los datos que aparecen en la sección A de este capítulo.

1. El principal efecto a corto plazo sobre una economía parecida a la de Estados Unidos sería un aumento moderado de la productividad y un incremento consiguiente del ingreso; no parece probable que resulte mayor de un 1 %.

2. El abaratamiento de la energía puede estimular la invención y la introducción de nuevos aparatos consumidores de energía que hasta el presente no se han aplicado y que, de aplicarse, utilizarían la energía en muy grandes cantidades, en la actualidad no practicables económicamente. La probabilidad de que ello ocurra cae dentro del área de lo especulativo.

3. Transcurrido cierto número de años podrían ocurrir efectos a largo plazo de mayor cuantía si el aumento del ingreso condujese a una más rápida acumulación de capital, con lo que se incrementaría la productividad de la economía. El que este aumento de la productividad se traduzca realmente en un incremento de la producción depende de lo adecuadas que resulten las oportunidades generales de inversión y la política gubernamental tendiente a la ocupación plena.

4. Aparte del efecto producido por una más rápida acumulación de capital o por los inventos antes citados, no cabe esperar que el abaratamiento de la energía produzca de por sí ningún incremento sustancial de la demanda de energía.

XIV. LA ENERGÍA ATÓMICA Y LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS ÁREAS INSUFICIENTEMENTE DESARROLLADAS

Desde un punto de vista superficial podría parecer que los efectos de la energía atómica sobre la industrialización de los países insuficientemente desarrollados pueden estudiarse dentro de los lineamientos que ofrece el último capítulo. Esto es verdad en cierta medida, pero existen varias razones en virtud de las cuales debe emprenderse un análisis complementario que parta de una perspectiva diferente.

Un área como China no es ni una economía encerrada en sí misma ni tampoco simplemente una región incluida en una economía exterior. A causa del comercio internacional y de los movimientos internacionales de capital no se la puede estudiar como algo completamente aislado. Por otra parte, debido a la imperfecta movilidad del capital y a la casi completa inmovilidad de la tierra y la mano de obra dentro de los límites nacionales, no se la puede considerar como porción de una economía que permite un libre movimiento de estos factores.¹ Lo mismo puede valer incluso para unidades políticas más pequeñas.

Además, el análisis que hasta aquí llevamos a cabo supuso en buena parte un equilibrio económico y tuvo en cuenta la perturbación y el restablecimiento de dicho equilibrio después de la introducción de la energía atómica. Es bien dudoso que la actual división del trabajo en el campo internacional pueda describirse correctamente como una situación de equilibrio. En realidad tienen lugar importantes cambios dinámicos, y los efectos de una innovación, como la que representa la disponibilidad de energía barata en cualquier sitio, se superpondría a estos cambios.

Por último, hasta aquí hemos supuesto en nuestro análisis la ausencia de toda política gubernamental salvo en lo que concierne a mantener la plena ocupación. Sin embargo, es probable que las economías nacionales de la mayor parte de los países poco desarrollados crezcan sometidas a un fuerte y directo control gubernamental dirigido principalmente a la industrialización.

En consecuencia, investigaremos en este capítulo la industrialización en tanto que proceso dinámico que tiene lugar bajo la dirección de un gobierno que intenta conseguirla tan rápidamente como sea posible. En particular, procuraremos determinar si el hecho de poder disponer de energía atómica barata dará lugar a algún efecto sobre el ritmo a que puede avanzar esta industrialización o sobre los límites hasta los cuales se pueda llevar en último término.

¹ Acerca de la relación entre la teoría de la localización y la teoría del comercio internacional, véase Bertil Ohlson, *Interregional and International Trade*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1933, particularmente los capítulos I y XII.

En la primera sección del presente capítulo se examinarán las fases características por que pasa una nación durante el proceso de su industrialización. Necesitaremos luego determinar qué factores fijan un límite, económico o técnico, al ritmo a que puede avanzar dicha industrialización y el punto hasta donde puede llegar. Sobre todo intentaremos fijar si existen áreas importantes en el mundo en las que, en ausencia de la energía atómica, la falta de recursos de energía impedirá o limitará la industrialización.

El objeto de la tercera sección consistirá en determinar si la disponibilidad de energía atómica puede acelerar la industrialización al reducir las necesidades totales de capital. En la cuarta sección se examina la posibilidad de que la energía atómica pueda permitir una industrialización geográficamente más descentralizada de lo que en otro caso fuera posible.

Los datos concretos para nuestro análisis se obtendrán respecto de cierto número de áreas que se encuentran en curso de industrialización, particularmente China, la India, el Japón y América del Sur. Estos datos deben tomarse como meros ejemplos ilustrativos, de los que aquí nos valemos por el simple hecho de poder disponer de ellos. En modo alguno se ha intentado realizar una investigación completa en escala mundial del problema de la industrialización. Existen ciertamente otras áreas, especialmente la Europa Oriental, la Costa del Mediterráneo y el Cercano Oriente a las que se aplicaría el análisis general, pero que no se examinan aquí en sus pormenores.

A) ETAPAS TÍPICAS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN

Las "áreas insuficientemente desarrolladas" se caracterizan, bien sea por una economía agrícola y de trabajo manual encaminada a la pura subsistencia o por una economía agrícola monetaria y que depende de la importación de artículos manufacturados (y a veces también de alimentos) o por alguna combinación de las dos. La mayor parte de las regiones no europeas del mundo, cuando entraron en contacto con la cultura y el comercio occidentales, pasaron por ciertas etapas críticas de desarrollo que culminaron en una industrialización gradual.²

Etapas 1ª: La economía aldeana. Todas las áreas del mundo que no caen dentro del patrón occidental, sea cual fuere el nivel de civilización que hayan alcanzado, han poseído en común ciertas características económicas. Al principio la economía ha sido ante todo una economía de aldea, de acuerdo con la cual las necesidades principales de cada lugar se han visto satisfechas dentro de la misma o por intercambio de artículos con

² Véase G. B. Jathar y S. G. Beri, *Indian Economics*, 3ª ed., vol. I, Londres, Cambridge University Press, 1931, pp. 120-133.

otros lugares que caen siempre dentro de un círculo de muy pequeño radio. El comercio a distancias considerables se ha visto limitado principalmente a artículos de valor elevado y volumen pequeño. Los artículos de carácter no agrícola se han producido en el propio hogar o por métodos manuales. El nivel de productividad ha sido bajo y el ingreso real de la masa de población no se ha encontrado nunca muy por encima del nivel de subsistencia. Como resultado de todo ello, la producción y el consumo de productos agrícolas han constituido las más importantes actividades económicas. El papel representado por el dinero ha sido del todo insignificante.

Etapas 2ª: La economía del monocultivo. Cuando estas áreas se abren al comercio occidental, los efectos se hacen notar primero cerca de los puertos de entrada; tan sólo gradualmente se extienden hacia el interior. Cabe que esta expansión resulte muy dificultada por la falta de medios de comunicación adecuados y, en consecuencia, puede presentarse un gran retardo entre la economía en el interior y su desarrollo cerca de los puertos de entrada. La etapa 2ª, la primera fase de la occidentalización, está caracterizada por dos importantes cambios: el área llega a ser exportadora de productos agrícolas y los productos manuales indígenas (salvo en tanto que lleguen a ser artículos de exportación) resultan reemplazados gradualmente por la importación de artículos manufacturados occidentales, en particular tejidos, para satisfacer las más simples necesidades no agrícolas de la población. Aunque aumente la actividad agrícola, el área se especializará a menudo en cultivos que se vendan por dinero hasta tal punto que llegue a ser fuerte importadora de alimentos.

Al principio los que emprenden la tarea de abrir el área al comercio internacional se limitan a adquirir productos agrícolas y manuales de los nativos. En aquellas áreas que son relativamente primitivas este método resulta ser por lo general nada satisfactorio para ellos y tiene lugar un desarrollo gradual de la agricultura en plantaciones, desarrollo que a su vez trae consigo cambios culturales de la mayor importancia. La población nativa da sus primeros pasos hacia hábitos de trabajo y formas de consumo "occidentalizados".

En estas condiciones, un área atrasada que se encuentra en la etapa 2ª se convierte en un sector especializado de la división internacional del trabajo. La nueva industria, que requiere una pequeña inversión de capital, se traduce gradualmente en la desaparición de los productos manuales del país, salvo los exportables. El dinero comienza a representar un papel más importante, aunque la agricultura de mera subsistencia puede continuar existiendo al lado de la agricultura destinada a la consecución de dinero.

Una importante variante de la etapa 2ª se encuentra en áreas explotadas más bien por sus minerales que por sus recursos agrícolas. En este

caso, el capital importado desempeña un papel mucho más importante, el desarrollo del transporte a los sitios en que se encuentran los depósitos de mineral pasa a ser esencial y se acelera la occidentalización de aquella parte de la población nativa que cae dentro de la nueva esfera de actividad. Aun más que en el caso de una comunidad agrícola, las economías antigua y nueva pueden coexistir aquí, particularmente cuando la escasez de capital disponible y de los yacimientos minerales limitan la escala del desarrollo. Con frecuencia se manifiesta una considerable movilidad de la mano de obra de una a otra economía en ambos sentidos.

En una tercera variante de la 2ª etapa, un área escasamente poblada se ve poblada y desarrollada por hombres de occidente con especialización inicial en la agricultura, en la minería o en ambas actividades a la vez.

En la actual situación mundial tan sólo los interiores de los continentes no se han desarrollado por lo menos hasta la etapa 2ª. La primera de las variantes antes descritas ha sido típica de las áreas densamente pobladas del Lejano Oriente, incluyendo la península India, China, Malaca, Borneo e Indonesia; la segunda ha sido típica de la costa occidental de América del Sur, Rhodesia y el Congo y ciertas áreas de los Balcanes; la tercera es patente en la Argentina, Australia y, en un período anterior, en Norteamérica.³

Etapas 3ª: Industrialización incipiente. A continuación tiene lugar un retroceso del grado extremo de división internacional del trabajo alcanzado en la etapa 2ª. El área poco desarrollada comienza a crear industrias utilizando los medios técnicos y el capital suministrado por los países industriales. El ritmo de industrialización se ve limitado por el suministro disponible de capital y por la rapidez con que la población nativa continúa occidentalizándose.

La adaptación cultural a las formas occidentales tiene importancia fundamental en el proceso de industrialización por varias razones. Las diferentes industrias requieren un suministro de mano de obra acostumbrada a trabajar regularmente, susceptible de ser educada y a la que pueda confiarse el manejo del equipo mecánico. Las industrias requieren también mercados para sus productos, lo que a su vez implica un crecimiento ulterior del transporte, las comunicaciones y la economía monetaria y una buena disposición por parte de la población a consumir artículos fabricados en vez de los productos del artesanado.

³ En el caso de Europa Oriental y la cuenca del Mediterráneo las etapas 1ª y 2ª se produjeron, claro está, a la vez que la revolución industrial de la Europa Occidental, más bien que posteriormente. En estas áreas que participaban de la cultura europea preexistente, el cambio no implicó el mismo tipo de sustitución cultural que en el caso del Lejano Oriente. Sin embargo, en lo que concierne a los desarrollos económicos, los estadios de que se trata aquí son aplicables a estas áreas al igual que a las específicamente examinadas en el texto.

Aun en países de muy elevada densidad de población, como la India y China, las industrias nuevas han sufrido trágicamente la escasez de mano de obra. No es fácil inducir al "exceso" de población agrícola a emigrar a las ciudades; la emigración es con frecuencia transitoria e incluso estacional. Los trabajadores no están acostumbrados a trabajar más allá del punto en que han sido satisfechas sus necesidades de subsistencia. El analfabetismo, el desconocimiento completo de la maquinaria occidental y la debilidad física provocada por la dieta siempre pobre y los bajos niveles de vida hacen que la mano de obra sea extraordinariamente ineficiente. En el haber de este proceso encontramos que la introducción de medidas rudimentarias de salubridad y la disminución del hambre acarrearán casi en todas partes una brusca disminución del número de defunciones y un rápido incremento de la población, con lo que aumenta la presión sobre las tierras y se estimula el movimiento hacia las ciudades en las que la cultura avanza mucho más rápidamente que en las aldeas.

Parece, pues, que el avance cultural es al mismo tiempo una consecuencia de la industrialización y una condición necesaria para su progreso continuo.

Por regla general, la industrialización ocurre primero en industrias que manufacturan artículos de baja calidad, pero que se consumen en grandes cantidades en el mercado interior y que requieren solamente un pequeño capital para el número de trabajadores empleados.⁴ También se desarrollan industrias para producir artículos de exportación que usan grandes cantidades de obreros manuales. En algunos casos, estas áreas, que utilizan métodos de producción que implican empleo menos intenso del capital, producen artículos en competencia con las naciones más industrializadas. A medida que avanza la industrialización, los artículos de consumo de baja calidad se pueden exportar en cantidad a las áreas vecinas que no han alcanzado el mismo estadio de desarrollo y pueden reemplazar en ellas los artículos que antes eran suministrados por los países industriales. Los tejidos, la preparación de alimentos y la industria del calzado son áreas típicas de concentración en este estadio del desarrollo.

Los países que se encuentran en la etapa 3ª continúan importando de los países más industrializados la mayor parte de sus necesidades de capital, como también artículos de consumo de alta calidad. También se importan con frecuencia materias primas para las industrias de artículos de consumo.

La industria textil del algodón en el Lejano Oriente proporciona un ejemplo de las relaciones económicas mutuas de cierto número de países

⁴ Pero en el Japón, debido a los controles y subvenciones gubernamentales, la industria pesada apareció en un estadio muy primordial de la industrialización. Este fenómeno puede repetirse en otros países que están emprendiendo ahora la industrialización planeada.

que alcanzaron la etapa 3ª en tiempos diferentes y de sus relaciones con los países industriales. Los tejidos de algodón japoneses reemplazaron a los tejidos ingleses primero en el propio Japón y más tarde en China, Indonesia y la India (en la cual una industria textil nativa, que empleaba métodos manuales y exportaba a Europa, se había visto ya desplazada por los tejidos ingleses). Más recientemente, estos tres países han iniciado la producción en cantidad de sus propios tejidos de algodón compitiendo así con los artículos japoneses. Finalmente, la exportación de tejidos desde el Lejano Oriente ha efectuado algunas incursiones en el mercado interno de tejidos en Europa.

Este estadio de industrialización incipiente culmina, por lo tanto, cuando las áreas "poco desarrolladas" exportan, no sólo productos agrícolas, sino también artículos de inferior calidad manufacturados a base del empleo intensivo de la mano de obra, mientras que las naciones industrializadas se especializan en artículos manufacturados de alta calidad que se valen del capital de modo intensivo.

Etapas 4ª: Introducción de la industria pesada. En la etapa final de la industrialización, el país "poco desarrollado" comienza a implantar las industrias más características de la industrialización occidental, tales como la metalurgia de metales ferrosos y no ferrosos. La disponibilidad de determinados recursos pasa a ser aquí factor específico de limitación. (Claro está que también lo era en la etapa 2ª para las áreas mineras.) Se necesitan mineral de hierro, carbón y energía. También en este estadio la disponibilidad de capital adquiere importancia crítica, puesto que las industrias en cuestión requieren la intensiva utilización de capital. Por otra parte, cuando un área alcanza esta etapa, es capaz con frecuencia de proveer una cantidad considerable de sus propios ahorros y puede resultar posible que el desarrollo se produzca sin tener que acudir a grandes empréstitos en el extranjero. Los bienes de capital importados —hierro, acero y maquinaria— se pagan con la exportación de productos agrícolas e industriales.

B) LA INDUSTRIALIZACIÓN Y EL INGRESO REAL

Los efectos económicos que se derivan de la industrialización dependen en muy buena parte de lo que ocurrirá con el ingreso real a medida que aquella avanza. El nivel y cuantía del ingreso real fijarán límites al ritmo posible de acumulación de capital interior y determinarán también el mercado nacional para varias clases de productos. Esto a su vez afectará a cuestiones tales como la magnitud de diversas importaciones y el punto hasta el cual se puedan llevar a cabo las economías de la explotación en gran escala en lo que concierne a la producción para el mercado interior.

El paso de la economía de aldea a la economía de monocultivo se ha acompañado a menudo de una disminución efectiva del ingreso real para cierta parte de la población. Generalmente, el propietario rural mejorará su condición, por lo menos temporalmente, al sustituir los productos más caros del artesanado local por los artículos extranjeros baratos. Las personas empleadas en trabajos manuales se verán empobrecidas por la depreciación de sus productos, y muchas de ellas, en consecuencia, se pasarán a las labores agrícolas, disminuyendo así los salarios de este grupo.

Cuando los agricultores buscan un empleo parcial en las industrias manuales durante las temporadas de calma, los resultados de la transición a la economía de monocultivo resultan casi paradójicos. Los agricultores empezarán a comprar, para su propio consumo, los tejidos extranjeros más baratos y otros artículos manufacturados. Esto reducirá la demanda de trabajo manual nativo y los salarios de ese trabajo, con lo que, en consecuencia, quedarán reducidos los ingresos totales de los agricultores. Por lo tanto, su ganancia, hecha posible por la disponibilidad de artículos baratos, puede verse anulada en buena parte por la disminución de sus salarios como temporeros.

Cabe esperar, en general, que la transición entre esos estadios primeros tendrá un efecto generalmente deprimente sobre aquellos que se ganan la vida por completo como trabajadores manuales o en faenas agrícolas, mientras que aumentará moderadamente el ingreso real de los poseedores de tierras, particularmente si éstos no dependen en buena medida del empleo temporal en la industria como complemento de sus ingresos agrícolas.⁵

Hemos hecho notar ya que, a medida que el área poco desarrollada evoluciona hacia la etapa 3ª (la de industrialización incipiente), ocurren importantes cambios de población. Las economías agrícolas, particularmente en áreas poco desarrolladas, han presentado siempre una velocidad de aumento de la población que las ha hecho descender a un nivel de mera subsistencia. Las muy inadecuadas estadísticas de que se puede disponer para esas áreas sugieren que el incremento natural de la población se ve periódicamente anulado por las guerras, el hambre y las epidemias. Al pasar a la economía de monocultivo, más productiva, casi invariablemente ha sobrevenido un rápido crecimiento de la población que se mantiene a la par con el incremento de la producción y mantiene los ingresos a niveles bajos. Este aumento de población ha sido estimulado

⁵ Jathar y Beri, *op. cit.*, pp. 133-138; J. S. Furnivall, *Netherlands India*, Cambridge, Inglaterra, Cambridge University Press, 1944, pp. 106-108; Hsiao-Tung Fei y Chih-I Chang, *Earthbound China*, Chicago, University of Chicago Press, 1945, pp. 304-306 y *passim*; J. L. Hammond y Barbara Hammond, *The Rise of Modern Industry*, Nueva York, Harcourt, Brace and Co., 1926, pp. 90-96; Edward P. Cheyney, *An Introduction to the Industrial and Social History of England*, Nueva York, The Macmillan Co., 1910, pp. 220-223.

por las medidas tomadas con vistas a la paz y la salubridad pública y por la mejora de las comunicaciones, que ha reducido el problema del hambre.

Con el advenimiento de la industrialización, una buena parte del incremento de la población se dirige a las ciudades, pero al mismo tiempo la resistencia a la migración permite que por lo menos los salarios urbanos aumenten por encima del nivel de subsistencia. Un aumento en los ingresos se ve fomentado, además, por la disminución del número de nacimientos en las ciudades y también, a menudo, hasta cierto punto en las áreas rurales. Como es bien sabido, este último desarrollo ha avanzado tanto en los más viejos países industriales de Europa, que en muchos de ellos el coeficiente de reproducción es ahora demasiado bajo para reemplazar sus poblaciones manteniéndolas a un nivel constante, y parecen haber escapado definitivamente al dilema que planteaba la presión de la población sobre los recursos.

Es todavía más que dudoso si las áreas de elevada densidad de población que actualmente están experimentando la industrialización escapan también a este dilema. Incluso en el caso del Japón, el más avanzado de ellos, las tendencias manifiestas en las estadísticas relativas a nacimientos y defunciones no dan ninguna indicación clara de si se alcanzará un equilibrio entre aquellos dos factores demográficos a un nivel de ingresos superior al nivel de subsistencia.⁶ En China, la India, Egipto y otras áreas con una elevada proporción de nacimientos, varios factores en la estructura social constituyen una seria barrera a la reducción del número de los mismos.

Hemos expuesto estas cuestiones con cierto pormenor porque indican cuán importante es para un país poco desarrollado que la industrialización avance rápidamente. Cuando el proceso de industrialización es rápido, y no se concentra exclusivamente en artículos de inversión, es posible predecir que tendrá lugar un aumento importante de los ingresos reales, por lo menos en las ciudades, durante el período inicial. Si dicho aumento va acompañado, conforme ha sido lo corriente, por un descenso suficientemente rápido de la tasa de natalidad, es posible que los nuevos niveles de vida más elevados lleguen a quedar establecidos definitivamente. Además, es probable que los ingresos más altos incrementen el ritmo de formación de capitales al fomentar ahorros mayores.

Cuando el proceso de industrialización es lento, sea por una escasez inicial de capital o por otras razones, puede necesitarse mucho tiempo para que el país atrasado se libere de su presión demográfica. Un incremento de la población puede absorber el incremento de productividad resultante de la industrialización y exigir que el capital disponible se ex-

⁶ Ejemplos de estas generalizaciones aplicadas a áreas particulares se encuentran en *Demographic Studies of Selected Areas of Rapid Growth*, Nueva York, Milbank Memorial Fund, 1944.

tienda mucho más a expensas de su inversión intensiva. Esto, a su vez, dará lugar, probablemente, a un efecto de depresión sobre el ritmo de acumulación de capital al hacer imposible el ahorro para la mayor parte de las familias. Por consiguiente, cualquier perfeccionamiento técnico que acelere, aunque tan sólo sea ligeramente, la rapidez a que puede avanzar la industrialización puede mejorar considerablemente las perspectivas de las áreas poco desarrolladas.

Por lo tanto, el paso de la economía de monocultivo (etapa 2ª) a la industrialización inicial (etapa 3ª) está caracterizado por una mayor dependencia de las fuentes locales de suministro de artículos de consumo de baja calidad. Por otra parte, a causa del efecto sobre el ingreso que acabamos de describir, la demanda total de artículos de consumo, y particularmente de artículos de alta calidad, puede incrementarse. Además, el país que se encuentra en curso de industrialización puede aumentar mucho sus importaciones de maquinaria y otros artículos de producción, incluidas las materias primas, exportando en cambio productos agrícolas y artículos manufacturados de baja calidad.

En lo que concierne a los ingresos reales, lo que hemos dicho en los párrafos anteriores se aplica, por lo general, tanto a la etapa 3ª como a la 4ª del proceso de industrialización.

C) FACTORES QUE LIMITAN LA INDUSTRIALIZACIÓN

Se trata ahora de averiguar hasta qué punto cabe esperar que avanzará la industrialización en las áreas atrasadas y en qué cuantía puede facilitar este proceso la disponibilidad de energía atómica, particularmente al suprimir las limitaciones que de otro modo lo impedirían o lo retardarían.

El término "limitaciones" posee, al parecer, dos significados, uno económico, tecnológico el otro. Un factor puede imponer un límite económico a la industrialización si escasea y si un incremento de la cuantía del mismo se puede conseguir únicamente a un costo elevado. Un factor puede imponer un límite técnico a la industrialización si es absolutamente escaso —esto es, si no hay manera alguna de aumentar la cantidad disponible del mismo— y si no existe ninguna posibilidad de sustituirlo por otros factores. Claro está que las limitaciones tecnológicas son en realidad sólo un ejemplo extremo de limitaciones económicas, porque en casi todos los casos se puede importar un factor tecnológicamente escaso, si bien a un costo elevado.⁷

⁷ Podría parecer que las tierras constituyen una excepción, pero esto no es del todo cierto ya que se pueden importar el agua y los abonos minerales para incrementar su productividad. Conforme han hecho notar a menudo los economistas, es difícil trazar una línea divisoria clara entre tierra y capital como factores de la producción.

Sin embargo, en un sentido presenta cierta utilidad la distinción entre escasez "económica" y "técnica". En el creciente número de casos en los que la industrialización está controlada y dirigida por un gobierno central, muy bien puede ocurrir que los costos comparativos no sean el único criterio que determine la dirección de la industrialización. Además, la importación en gran escala de factores tecnológicamente escasos puede estar descontada debido a la falta de divisas o por razones políticas o militares. En estos casos, la planificación económica puede tener más que ver con limitaciones tecnológicas que con limitaciones económicas.

¿Cuáles son las limitaciones específicas que afectan el alcance y la rapidez de la industrialización? Las más importantes serían el capital, la destreza y la técnica, la energía y ciertos minerales específicos.

1. El capital

El capital empleado por habitante de la población trabajadora es generalmente algo mayor en las manufacturas que en la agricultura. La razón capital —mano de obra— no es, sin embargo, en modo alguno fija, pues varía enormemente de una a otra industria, y dentro de una industria dada puede variar mucho por la sustitución entre capital y trabajo.

Así, la cantidad de capital requerida para la industrialización de las áreas atrasadas depende del tipo de industrias que se desarrollen y de las clases de equipo utilizadas en la manufactura. Con relación al primer punto, los datos correspondientes a Pennsylvania indican las siguientes cantidades de capital por asalariado en varias industrias en 1929: fundición, Dls. 19,658; maquinaria eléctrica, Dls. 7,483; ladrillos, Dls. 4,211; artículos de algodón, Dls. 4,137; botas y zapatos, Dls. 1,664; vestuario masculino, Dls. 900; camisas, Dls. 563.⁸

Los datos que presenta Hubbard indican una inversión de cerca de Dls. 30 por huso en la industria japonesa de hilados de algodón y cerca de 55 husos por asalariado, es decir, una inversión de Dls. 1,650, aproximadamente, por asalariado.⁹ China, con unos 25 husos por asalariado, presentaría una inversión únicamente de Dls. 750 por trabajador. La inversión en las fábricas de hilatura y tejido de la India en 1930 era de unos Dls. 330 por trabajador (calculando la rupia en 33 centavos de dólar). La menor capitalización de estos países por asalariado hay que atribuirle probablemente al trabajo menos eficiente y al uso de un equipo menos automático y mecanizado.

⁸ Charles A. Bliss, *The Structure of Manufacturing Production*, Nueva York, Oficina Nacional de Investigaciones Económicas, 1939, pp. 109-110.

⁹ G. E. Hubbard, *Eastern Industrialization and its Effect on the West*, Londres, Oxford University Press, 1935, pp. 119, 123, 207 y 249.

Otra serie de estimaciones da las siguientes cifras para las necesidades de capital en las fábricas de algodón de la India: fábricas modernas, en gran escala, Dls. 395 por asalariado; telar mecánico, en pequeña escala, Dls. 99; telar automático, industria doméstica, Dls. 30; telar a mano, industria doméstica, Dls. 12.¹⁰

Además del capital requerido para fábricas y maquinaria, se requerirán grandes capitales para carreteras y ferrocarriles, plantas generadoras de energía, casas, etc. Sobre la base de estos datos, no ofrece un margen suficiente de seguridad el suponer que la industrialización de un país poco desarrollado, utilizando equipo moderno y con mano de obra relativamente eficiente, pueda llevarse a cabo con menos de Dls. 1,000 o más de capital por cada trabajador empleado (por ejemplo, en dólares de 1940). Incluso esta cifra supone una concentración en industrias textiles u otras industrias que utilizan el capital de modo extensivo.

En las industrias del hierro y el acero se requeriría una inversión 2 o 3 veces mayor, aun excluyendo la inversión en minas y en ferrocarriles. Emplear el 20 % de la población trabajadora de China (digamos, 40 millones de 200 millones) en la industria, incluso con una capitalización moderada, requeriría de 40,000 a 80,000 millones de dólares.¹¹ Distribuí-

¹⁰ S. Kesava Iyengar, "Industrialization and Agriculture in India Post-War Planning", *Economic Journal*, vol. 54, junio-septiembre 1944, p. 202 [encuétrase también en *El Trimestre Económico*, vol. XI, núm. 4, pp. 682-701, México, 1944]. Los datos de Iyengar están expresados en rupias y las cifras que aparecen en el texto se basan en un tipo de cambio de 1 rupia = 33 centavos.

¹¹ Mordecai Ezekiel estima las necesidades de capital para los nuevos trabajadores industriales en un mínimo de Dls. 1,000 por trabajador. Llega a la conclusión de que la inversión total de capital nuevo en Rusia desde la Revolución hasta 1939 fué de cerca de Dls. 3,500 (a razón de 1 rublo = Dls. 0.26) por cada trabajador adicional no agrícola. Presenta también una tabla de "necesidad estimada de inversión" para la primera década siguiente a la guerra cuyo total es de 18,000 millones de dólares para la Europa Oriental, 10,000 millones para China, 12,000 millones para la América Central y del Sur y 10,000 millones para la India, pero por lo que atañe a la India y a China estas cifras son excesivamente pequeñas para llevar a cabo su objetivo de aumentar la ocupación no agrícola del 40 al 55 % de la fuerza total de trabajo. ("Industrial Possibilities Ahead", en *Towards World Prosperity*, Nueva York, Harper and Bros., 1947, pp. 24-26). En el mismo volumen, Kurt Lachmann presenta objetivos de industrialización para los Balcanes que requerirían un capital de 6,600 millones de dólares ("The Balkan Countries", *ibid.*, p. 184). Esto se postula sobre la base de un incremento de 11,000 millones de KWH en la producción de energía eléctrica o aproximadamente Dls. 2,400 de nueva inversión por kilovatio de capacidad eléctrica instalada. De esta inversión, el 17 % se dedicaría a la construcción de medios para la producción y distribución de energía y el resto a fábricas y rehabilitación industriales. El plan de K. Mandelbaum para la Europa Oriental requiere una inversión anual de Dls. 1,000 millones sobre la base de una adición de Dls. 1,725 a 2,100 por persona que entra a formar parte de la fuerza de trabajo no agrícola (*The Industrialisation of Backward Areas*, Oxford, Basil Blackwell, 1945, p. 37); *La Industrialización de las Áreas Atrasadas*, Madrid, Aguilar). Colin Clark predice un incremento en la mano de obra no agrícola de China y de la India hasta 1960 de unos 70 millones de personas en cada caso y un incremento neto de capital requerido para dicha fecha de 61,000 millones de dólares (al valor promedio co-

do en un período de 15 años, este desarrollo requeriría acumulación de capital a razón de 2,700 millones a 5,300 millones por año —objetivo éste un tanto remoto para un país como China, aunque quizá no imposible de alcanzar.

El capital necesario para la industrialización se puede pagar de una de estas dos maneras, o de ambas, con el ahorro nacional (esto es, consumiendo menos de lo que se produce corrientemente), o con empréstitos o con inversiones extranjeras. Las inversiones y préstamos extranjeros dependen de la tasa de ahorro en los países más maduros y de la eficiencia marginal relativa del capital en los países en curso de desarrollo (esto es, el rendimiento que dará a quienes han efectuado la inversión) y, lo que quizá es todavía más importante, de consideraciones políticas.¹² Colin Clark ha estimado que varios países maduros dispondrán de ahorros en los próximos 15 años en cantidad superior a las necesidades nacionales de capital. En particular, da para los Estados Unidos en dicho período un exceso de 7,000 millones de dólares; para la Gran Bretaña, 58,000 millones y para Francia, 14,000 millones. (Aquí no tenemos en cuenta, claro está el proceso político que ha hecho de los Estados Unidos un formidable acreedor.) Estos fondos, mediante una combinación de inversiones privadas, préstamos gubernamentales y préstamos de sustituciones públicas internacionales podrían canalizarse hacia los países insuficientemente desarrollados.

Aun aparte de factores políticos, los acontecimientos de los últimos tres años hacen aparecer las estimaciones de Clark para la Gran Bretaña y Francia como demasiado optimistas, mientras que evidentemente ha subestimado el excedente exportable de ahorros norteamericanos. Las más recientes estimaciones de los gastos norteamericanos en condiciones de ocupación plena permiten llegar a la conclusión de que nos encontraremos con un balance de exportación de por lo menos 2,000 a 3,000 millones de dólares por año.¹³ Incluso si se mantuviera el saldo de 1946 de unos 5,000 millones, ello representaría sólo 75,000 millones en 15 años, parte considerable de los cuales es probable que vaya a parar a la Europa Occidental de acuerdo con el Plan Marshall o sus posibles sucesores.

A menos que todas estas estimaciones sean demasiado bajas, es claro

rrispondiente al período 1925/1934) para China y 144,000 millones para la India. Aunque el conjunto de objetivos perseguidos parece muy poco realizable, la razón de capital a empleo —Dls. 870 en el caso de China y 2,030 en el caso de la India— es bastante comparable con la supuesta en el presente estudio a pesar de haberse deducido mediante métodos completamente diferentes (Clark, *The Economics of 1960*, op. cit., pp. 71 y 80).

¹² Clark, *The Economics of 1960*, op. cit., p. 81.

¹³ De una compilación inédita, hecha por L. R. Klein, de estimaciones de "plena ocupación". Por otra parte, J. Frederic Dewhurst, en *America's Needs and Resources*, Nueva York, Twentieth Century Fund, 1947, capítulo 21, estima la salida neta de capital en Dls. 1,200 millones en 1950 y Dls. 1,100 millones en 1960.

que los empréstitos exteriores podrían proporcionar tan sólo una modesta porción de los fondos requeridos para una industrialización incluso moderada de las más importantes áreas poco desarrolladas.

Además, a menos que se puedan reducir ahora considerablemente los riesgos políticos que corren las inversiones en la mayor parte de los países poco desarrollados —y los acontecimientos diarios no son demasiado tranquilizadores— serán muy limitados los préstamos privados y de otras clases disponibles para inversión en ultramar a un tanto por ciento de interés moderado. Pero es claro que, sin cierto grado de estabilidad interna, la industrialización será imposible sea cual fuere la fuente de los fondos de inversión.

Desde el punto de vista de la demanda, no cabe concluir de aquí que exista una falta de oportunidades potenciales de inversión debida a una escasez de recursos minerales y combustibles. Las pruebas correspondientes a esta afirmación se presentarán en las siguientes secciones. La eficiencia marginal del capital depende efectivamente de los recursos disponibles para la explotación, pero probablemente depende mucho más de buen número de factores, entre los que se encuentran: a) la presencia o ausencia de mejoras internas, particularmente ferrocarriles, carreteras, sanidad y seguridad interior; b) la escala existente de industrialización, que puede conducir a economías de producción en gran escala que atraen nuevas inversiones; c) el conocimiento de oportunidades y d) la magnitud del mercado interior para productos manufacturados (que depende, a su vez, de los ingresos reales por habitante y del volumen de la población en el país en curso de industrialización). La naturaleza de estos factores sugiere la posibilidad de un efecto acumulativo; el proceso de industrialización puede hacer que las posibilidades de inversión sean más atractivas.

El suministro interior de ahorros depende de los ingresos reales, de la distribución de los ingresos, de los gastos de las clases pudientes con relación a los gastos ostensibles y al atesoramiento de objetos preciosos, y de la política gubernamental. En Rusia, después de la revolución, la política gubernamental fué, naturalmente, el principal factor determinante del nivel del ahorro. En el Japón, las familias ricas gobernantes proporcionaron buena parte del capital al volver a invertir sus beneficios una vez que se persuadieron de que su propio futuro y el de su país exigía la industrialización. (Adoptaron este punto de vista tan sólo después de que las primeras inversiones gubernamentales y las continuas subvenciones hubieron demostrado que ello era factible y provechoso.) En la India y en China, por otra parte, la industrialización se ha visto impedida en gran manera por la preferencia en muchas personas por acumular sus ahorros en forma de tierras, mansiones, joyas y metales preciosos.

En la actualidad, virtualmente todas las áreas poco desarrolladas importantes proponen y emprenden la industrialización planeada (si bien

no debemos tener una excesiva confianza en cuanto a la efectividad de estos planes y de su estructuración). Sus gobernantes y sus cabezas industriales no muestran inclinación alguna por abandonar los procesos del cambio económico y tecnológico a las fuerzas del *laissez-faire*.

Bajo un programa de industrialización planeada, los gobiernos de los países poco desarrollados intentarán sin duda alguna procurarse fondos considerables para inversión de capital mediante el ahorro nacional voluntario y forzoso.¹⁴ Esto al principio será difícil mientras los ingresos se encuentren próximos al nivel de subsistencia, pero llegará a ser progresivamente más fácil si se logra el éxito en los primeros estadios. Al mismo tiempo se buscarán empréstitos exteriores, principalmente como fuente de divisas, para financiar las importaciones de maquinaria y otros bienes y equipo necesarios que no se pueden obtener en el propio país.

De los 10,000 crores de rupias requeridos para financiar el "Plan Bombay", por ejemplo, se ha propuesto que 300 se obtengan de riqueza acaparada, 1,000 de saldos existentes en esterlinas, 600 de una balanza comercial favorable, 700 de un empréstito directo exterior y 7,400 procedentes del ahorro nacional, voluntario y forzoso (incluyendo 3,400 por la emisión de moneda.¹⁵ El plan Mandelbaum para la Europa Occidental propone que quizá la mitad de los fondos de inversión se creen dentro de la propia área.¹⁶

No es del todo seguro basar las predicciones acerca de la acumulación de capital en las áreas en curso de industrialización sobre las antiguas tasas de ahorro en estas áreas. Uno de los mayores esfuerzos del gobierno al estimular la industrialización consistirá en proporcionar el capital necesario mediante empréstitos interiores, creación de moneda, empréstitos exteriores y otras medidas. Aunque se ha discutido bastante en torno de las cifras rusas, la U.R.S.S. puede haber acumulado capital, por lo menos durante la pasada década, en una proporción que excede del 20 % al año del ingreso nacional.¹⁷ Incluso con un control menos completo por parte del gobierno, o en algunos casos incluso casi sin control, en

¹⁴ La población puede verse forzada a ahorrar mediante alguna combinación de las siguientes medidas: impuestos, impuestos reintegrables (es decir, préstamos forzados al gobierno) e inflación de los precios con vistas a reducir el consumo.

¹⁵ P. Thakurdas *et al.*, *A Plan of economic Development for India*, Nueva York, Penguin Books, 1945, pp. 51 y ss. (1 crore de rupias = 10 millones de rupias = 3,3 millones de dólares.)

¹⁶ *Op. cit.*, p. 84. Los planes oficiales de Hungría, Checoslovaquia, Yugoslavia y Bulgaria para la postguerra suponen que las inversiones (que oscilan entre el 10 % y el 20 % del ingreso nacional) serán financiadas desde el interior, mientras que el plan de Polonia supone una financiación interior de la inversión de un 80 %. Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos, *A Survey of the Economic Situation and Prospects of Europe*, Ginebra, 1948, p. 126.

¹⁷ Clark, *Conditions of Economic Progress*, *op. cit.*, pp. 300-400. Clark cree que la cifra correcta es algo menor.

relación con la Gran Bretaña (1860/1869), los Estados Unidos (1900/1910) y Noruega (1913); se han estimado proporciones de un 15 % aproximadamente y por lo que se refiere a Alemania (1900/1910), Holanda (1925/1930) y Japón (1919/1937) proporciones de un 20 % aproximadamente.¹⁸

Partiendo de la base de hipótesis más bien optimistas con respecto al ingreso, Colin Clark estima que los ahorros en la India en el período 1945-1960 ascenderán a 72,000 millones de dólares (cerca del 7.5 % del ingreso) —unos 5,000 millones por año— pero en China tan sólo a 3,400 millones de dólares (1 % del ingreso). Conforme hemos visto, el "Plan Bombay" propone para la India una inversión de capital en 15 años de unos 33,000 millones de dólares. Los planes oficiales de 4 países orientales europeos (Polonia, Hungría, Checoslovaquia y Yugoslavia) requieren en conjunto una inversión de capital anual de más de 2,500 millones de dólares.

No parece del todo aventurado deducir de ello que, con un fuerte apoyo por parte de los gobiernos centrales, se pueden invertir de 30,000 a 60,000 millones de dólares en la industrialización de China y de la India durante los próximos 15 años¹⁹ y menores cantidades en otros países insuficientemente desarrollados. El próximo problema con que nos vamos a enfrentar es el de determinar si los recursos de estos países son suficientes para soportar una industrialización en esta escala.

2. La destreza

Uno de los más importantes recursos que se requieren para hacer funcionar la industria moderna es la destreza y el conocimiento tecnológicos. Se ha hecho observar con frecuencia que la industrialización progresa primero en las pequeñas industrias que requieren poca capacidad técnica, pero que el nivel de destreza mejora rápidamente. No existe, sin embargo, prueba alguna de que las áreas de más reciente industrialización sobrepasen en realidad a las áreas más antiguas en este aspecto, dado que estas últimas han continuado siendo los centros de perfeccionamiento tecnológico.

Existe considerable evidencia de que el hincapié que se hizo en el adiestramiento tecnológico en la Alemania Imperial fué un factor muy importante no tan sólo para su rápida industrialización, sino particularmente para permitirle sobrepasar en competencia técnica a la Gran Bretaña y a los Estados Unidos en industrias tales como la de productos químicos y equipo eléctrico. A menudo se ha citado el alto nivel de

¹⁸ *Ibid.*, p. 406.

¹⁹ Esto es, alrededor de un 10 % del ingreso.

instrucción y educación en los Estados Unidos como explicación parcial de su expansión industrial.

Estas lecciones no han sido olvidadas en las áreas más recientes. La educación técnica ha formado siempre parte importante de los planes de Rusia. Casi todas las propuestas de industrialización de los otros países menos desarrollados insisten igualmente en la expansión de los medios de educación. Se reconoce de modo general, sin embargo, que sería una tarea mucho más fácil desarrollar la necesaria capacidad profesional del obrero y la competencia en la dirección y en los ingenieros por lo que toca a las industrias ligeras que en lo que concierne a las industrias pesadas.

3. La energía

Aunque la energía es el factor productivo de importancia central para nuestro problema particular, es difícil desligarla de las exigencias de capital en general y también de las necesidades de ciertos minerales. La relación entre energía y capital es doble. En primer lugar, se requiere capital en cantidades relativamente grandes para la producción de energía. Consideramos más adelante este punto en conexión con posibles ahorros de capital debidos al uso de la energía atómica. En segundo lugar, una gran proporción del capital industrial se presenta en la forma de aparatos que producen o consumen energía.

En el Japón (1929) se contaba con unos 2 kilovatios de capacidad instalada en motores y otros aparatos que utilizan energía por cada trabajador ocupado en manufacturas, mientras que en los Estados Unidos la instalación de motores (1939) ascendía a 8.5 kilovatios por cada persona empleada en iguales condiciones.²⁰ Es evidente que se requiere una inversión en instalaciones para la producción de energía destinada a estos motores además del capital invertido directamente en fábricas.

Claro está que no cabe fijar una razón constante para la combinación de la energía con el capital industrial, porque esta razón variará de una a otra industria, lo que depende en gran medida del diseño de las fábricas y de la maquinaria de que se trate. En los Estados Unidos, el número promedio de kilovatios por cada Dls. 1,000 de capital (1929) fué probablemente de unos 0.7,²¹ pero variaba desde 3 en la producción de lingote hasta 1 en las industrias textiles y 12 en las manufacturas de tabaco. En el Japón (1929), esta cifra parece ser de 1.5 aproximadamente para toda la industria fabril, y en las proximidades de 1.5 para el hilado y el tejido y de 2 para las industrias de refinación de metales y cemento.²²

²⁰ John E. Orchard, *Japan's Economic Position*, Nueva York, Whittlesey House, McGraw-Hill Book Co., 1930; y Oficina del Censo de Estados Unidos, *Statistical Abstract of the U. S.*, 1947, Washington, 1947, respectivamente.

²¹ Bliss, *op. cit.*, p. 106.

²² Orchard, *op. cit.*

En una economía industrial se utiliza la energía a) en el transporte, b) para hacer funcionar maquinaria industrial y agrícola, c) en procesos químicos y metalúrgicos y d) como artículo de consumo. En varios de estos usos existe un alto grado de posibilidades de sustitución entre las diferentes fuentes de energía, particularmente desde que una proporción cada vez mayor de la electricidad se suministra por grandes centrales generadoras de energía eléctrica que se valen de muy distintos combustibles. Sin embargo, conforme hemos visto, la energía atómica no podría sustituir al carbón, de acuerdo con la técnica de hoy, en buen número de procesos industriales.²³

Si bien los datos estadísticos tocante a los recursos de combustible carecen notoriamente de precisión y poseen un carácter más bien especulativo, pueden tener cierto interés para indicar el grado de suficiencia en carbón de algunas áreas de industrialización potencial.²⁴ Los Estados Unidos, que consumen más de 4 toneladas *per capita* por año, cuentan con reservas *per capita* que exceden las 30,000 toneladas. La Gran Bretaña, con un consumo de 5 toneladas *per capita* por año, posee reservas *per capita* de unas 4,500 toneladas. Las reservas *per capita* de la U.R.S.S., China, la India y el Japón son de cerca de 7,000, 2,400 (o 550, según otra estimación), 250 y 120 toneladas, respectivamente.

Si en estos países la energía hidráulica se desarrollara hasta el máximo, se podría disponer de energía adicional equivalente a 0.03 kilovatios *per capita* en China, 0.02 en la India (incluyendo el Pakistán), 0.07 en el Japón, 0.27 en la U.R.S.S. y 0.31 en el Brasil, contra 0.20 en los Estados Unidos.²⁵ Con un factor de carga del 50 %, un kilovatio de capacidad generadora equivale a 4,400 KWH por año y éstos a su vez requerirían cerca de 1.7 toneladas de carbón.²⁶ Por lo tanto, el equivalente en carbón de la energía hidráulica disponible sería de unas 0.05 toneladas *per capita* en China, 0.03 en la India, 0.12 en el Japón, 0.46 en la U.R.S.S. y 0.53 en el Brasil. Dejando de lado por el momento el capital requerido para producir esta energía hidráulica y su inaccesibilidad desde el punto de vista de la ubicación, todos estos países podrían emprender una in-

²³ Véase la segunda parte, sobre todo el capítulo III, B.

²⁴ Las estimaciones, en miles de millones de toneladas, son: Estados Unidos, 4,231; Gran Bretaña, 209; China, 1,097 (241); India, 87; U.R.S.S., 1,200; Japón, 8. Los valores correspondientes a los Estados Unidos, Gran Bretaña, China, India y Japón proceden de *Coal Resources of the World*, *op. cit.* La cifra entre paréntesis correspondiente a China es una estimación (1939) del Reconocimiento Geológico de China (*China Handbook, 1937-1943*, Ministerio Chino de Información, Nueva York, The Macmillan Co., 1943, p. 481). El valor relativo a Rusia, procede de *Electric Power Development in the U.S.S.R.*, *op. cit.*

²⁵ Basado en el mapa 2, capítulo II.

²⁶ A razón de 10,000 BTU por KWH de energía eléctrica producida, es decir, el rendimiento térmico supuesto en el análisis de los costos de la energía ordinaria realizado en el capítulo II.

dustrialización considerable basada exclusivamente en la energía hidroeléctrica, pero ni siquiera el Brasil y la U.R.S.S. podrían producir más de cerca de $\frac{1}{20}$ del consumo actual de energía *per capita* en los Estados Unidos.²⁷

Al estimar las necesidades de energía de los países poco desarrollados en el futuro próximo, el emplear como patrón el consumo en Norteamérica sería ignorar la realidad. Una estimación más razonable, si bien extraordinariamente tosca, de las necesidades probables se puede obtener sobre la base de las estimaciones de acumulación de capital presentadas en la última sección.

Supondremos una razón próxima a 1.13 kilovatios en equipo que consume energía por cada Dls. 1,000 de capital invertido en manufacturas. La experiencia norteamericana indica que, en promedio, se consumirán unos 2,000 KWH anualmente por kilovatio de motores instalados, o 2,600 KWH por cada Dls. 1,000 de capital. Si toda la energía se produjera del carbón, ello exigiría la producción de 1 tonelada de carbón aproximadamente por año exclusivamente para las manufacturas por cada Dls. 1,000 de capital invertido en ellas (por ejemplo, en dólares de 1940).

No toda la energía utilizada en la industria se consume, claro está, en forma de electricidad. En los Estados Unidos, la electricidad representa cerca del 25 % del consumo total de energía en las manufacturas.²⁸ Esto aumentaría nuestras necesidades de carbón a unas 4 toneladas por cada Dls. 1,000 de capital invertido en aquéllas. Además, la energía consumida en las manufacturas representa solamente el 33 % aproximadamente del consumo total de energía en los Estados Unidos,²⁹ si bien el porcentaje de la energía consumida en actividades no manufactureras podría ser más bajo en un país que comience a industrializarse. Debemos también darnos cuenta de que no todo el nuevo capital en un país en curso de industrialización se destinará al equipo para las manufacturas; parte del mismo será necesario para mejorar los medios de transporte y otros servicios y para la construcción de edificios. Reuniendo todos estos factores, probablemente no nos alejaremos mucho de la verdad al suponer que por cada Dls. 1,000 de nueva inversión de capital deberá haber una producción anual de energía equivalente a entre 4 y 8 toneladas de carbón.

Una inversión nueva de capital que ascienda a 33,000 millones de dólares durante cierto número de años (cantidad propuesta en el "Plan

²⁷ La energía total consumida en los Estados Unidos en 1946 equivalió a 10 toneladas de carbón por habitante, pero se incluye aquí un equivalente a cerca de 1.5 que representa la gasolina consumida por los automóviles.

²⁸ Estimado a partir de datos del *U. S. Census of Manufactures, 1947*, informe preliminar acerca de "Fuels and Electric Energy Consumed", Washington, 18 de noviembre de 1949.

²⁹ *Ibid.*; y el *Minerals Yearbook* de 1948, sección "Coal-Bituminous and Lignite", Departamento del Interior, Oficina de Minas, Washington.

Bombay") requeriría un incremento de la producción de carbón en el mismo período a razón de 130 a 260 millones de toneladas por año sobre la proporción actual. Los recursos de carbón tanto en China como en la India no sufrirían excesivamente por esta tasa de consumo, que equivale a menos de una tonelada *per capita*.

En el caso de ciertas áreas como el Japón y América del Sur, los recursos de carbón resultan inadecuados incluso para un incremento moderado de la industrialización. Debe también advertirse que la existencia de suficiente carbón para la producción de energía no significa que exista suficiente carbón coquizable para el funcionamiento de los altos hornos, y alguna preocupación se ha expresado con este motivo en relación con la India.³⁰

Aunque no se prevé el agotamiento de las reservas de carbón, la sustitución de éste por la energía atómica en los países poco desarrollados tiene una importancia potencial, por más de un motivo: 1) puede conducir a un abaratamiento de la energía; 2) puede sustituir en ciertos usos al carbón en países que cuentan tan sólo con un suministro relativamente limitado de dicho mineral;³¹ y 3) en ciertas circunstancias puede permitir una reducción en el capital requerido para la industrialización al disminuir la inversión necesaria en presas, líneas de transmisión, minas y ferrocarriles.

Los efectos del abaratamiento de la energía, que fueron ya examinados en el capítulo anterior, se aplican a las áreas poco desarrolladas al igual que a aquéllas que se encuentran ya industrializadas. Más adelante nos ocuparemos de los otros dos puntos en el presente capítulo.

4. Los recursos minerales

Al considerar el papel de los recursos minerales en la industrialización, debemos distinguir entre la producción y el consumo de estos recursos en un área. A decir verdad, las áreas de industria pesada fueron en el pasado aquéllas que producían grandes cantidades de carbón y de hierro, pero esta íntima relación entre producción y consumo puede muy bien ser un mero accidente histórico. Si es practicable el método visto en el capítulo X para la reducción del mineral de hierro con instalaciones eléctricas sin tener que usar carbón, ello puede permitir la creación de una industria siderúrgica en países que carecen de carbón coquizable o en

³⁰ Véase capítulo X, C.2.b. Cf. también H. F. Bain y T. T. Read, *Ores and Industry in South America*, Consejo de Relaciones Exteriores, Nueva York, Harper and Bros., 1934, p. 117.

³¹ Véase el capítulo II para algunos ejemplos de países fuertemente limitados en lo que concierne a recursos de energía ordinaria y para un análisis de por qué la energía atómica pudiera proporcionarse más fácilmente a los mismos.

aquéllos en que los yacimientos de carbón se encuentran lejos de las minas de hierro.³²

Las reservas de mineral de hierro *per capita* se han estimado dentro de una aproximación muy tosca para varios países. El resultado es el siguiente: Estados Unidos, 29 toneladas, la Gran Bretaña, 66; la U.R.S.S., 27; China, 1.1; la India, 10.7; el Japón, 1; el Brasil, 98 toneladas.³³ Estas cifras particulares están sujetas a salvedades todavía más serias que las cifras correspondientes al carbón, ya que los minerales en cuestión son de calidades que varían extraordinariamente, siendo los de Gran Bretaña y el Japón especialmente pobres y los de China decididamente mediocres. Los Estados Unidos extraen más de 0.5 toneladas de mineral *per capita* y por año. Rusia extrae a su vez alrededor de 0.1 toneladas. Ni China ni el Japón cuentan con reservas que pudieran soportar durante muchos años una industria del hierro en escala occidental, como descubrió el Japón desde hace ya tiempo. Por otra parte, la escala de producción corriente en China de menos de 0.01 toneladas *per capita* podría incrementarse considerablemente, sin peligro de agotar el mineral, durante varias generaciones.

Por otra parte, será instructivo calcular la producción de mineral de hierro que se necesitaría para mantener una escala dada de industrialización. Sin embargo, ésta es todavía menos fácil de estimar que las necesidades de carbón, ya que la cantidad de hierro utilizada depende de que la industrialización esté enfocada principalmente hacia la industria pesada o hacia la industria ligera. Como Rusia la ha orientado en su mayor parte hacia la industria pesada, la experiencia de este país nos dará el límite superior de las necesidades de mineral de hierro.

Rusia produce cerca de una tonelada de lingotes de hierro por cada 10 toneladas de carbón extraído (consideramos aquí el consumo total de carbón, no meramente el carbón utilizado en los altos hornos). Por cada tonelada de lingote de hierro producida es necesario extraer dos toneladas aproximadamente de mineral de alto grado. Por otra parte, una tonelada de lingote de hierro con una tonelada de chatarra darán dos toneladas de acero. Si una inversión de capital de 33,000 millones de dólares corresponde a un consumo de carbón de entre 130 y 260 millones de toneladas por año, conforme antes se calculó, podemos ahora suponer que

³² Para el posible papel de la energía atómica por lo que toca a facilitar la expansión de la producción mundial de acero, véase el capítulo X, C.2.b.

³³ Las cifras que aquí se indican se refieren a las reservas "actuales". India, Brasil, Estados Unidos, la U.R.S.S. y Gran Bretaña poseen además grandes reservas "potenciales" de minerales menos accesibles o de más baja calidad. E. C. Roper ("The Union of Soviet Socialist Republics" en *Towards World Prosperity*, op. cit., p. 201) estima que las reservas rusas son de 267,000 millones de toneladas, o 1,600 toneladas por habitante, esto es, unas 10 veces los valores indicados por Mikami para las reservas "actuales" más las "potenciales". Véase H. M. Mikami, "World Iron-Ore Map", *Economic Geology*, vol. 39, enero-febrero de 1944.

esta misma inversión implicaría la producción de mineral de hierro a un ritmo que no excediese de 26 a 52 millones de toneladas por año.

La producción del mineral de hierro en estas proporciones agotaría probablemente los minerales de China en menos de una generación (la estimación de Mikami es de 500 millones de toneladas de reserva "reales" y 700 millones de toneladas de reserva "potencial"), pero esta producción se podría mantener indefinidamente con las reservas de la India. Deducimos de aquí que, en el caso de la India, el mineral de hierro no constituirá un factor limitativo en la industrialización, incluso concentrándose ésta hacia la industria pesada. Por otra parte, China deberá enfrentarse con la disyuntiva de importar parte de sus necesidades de mineral de hierro o reducir estas necesidades concentrando su desarrollo en industrias distintas de la siderúrgica. En ambos casos, la dificultad es tal, que no se podrá obviar mediante la disponibilidad de energía atómica.

No es necesario que llevemos a cabo análisis correspondientes a otras materias primas industriales, puesto que si se encuentran las bases de combustible y mineral de hierro necesarias para la industrialización, los otros minerales se pueden importar y las cantidades necesarias de los mismos no son tales que obliguen a hacer uso desmesurado de las divisas extranjeras.

La creciente sustitución del hierro y del acero que ha venido teniendo lugar durante la última década por metales ligeros, tales como el aluminio y el magnesio, puede cambiar fundamentalmente en la próxima generación la base mineralógica de la industria pesada. Teniendo presente las perspectivas de desarrollo de los metales ligeros, la pobreza relativa de algunos de los países poco desarrollados, sea en reservas de carbón, sea en reservas de hierro, resulta mucho menos grave de lo que hubiera parecido hace una generación. Poco se sabe acerca de la distribución de las materias primas para la manufactura de metales ligeros, debido en buena parte a que, a su vez, bien poco se sabe tocante a cuáles materias primas se pueden emplear económicamente. Si continúan los recientes interesantes desarrollos en la manufactura del aluminio sobre la base de las arcillas comunes y la extracción del magnesio del agua del mar, las materias primas para la industria de los metales ligeros, salvo la energía, se encontrarán virtualmente en todas partes.³⁴

D) PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIALIZACIÓN MEDIANTE EL USO DE LA ENERGÍA ATÓMICA

Hemos examinado ya las etapas típicas del proceso de industrialización, los efectos de ésta sobre el ingreso real y los factores que limitan tanto la

³⁴ Véase el capítulo IV para un estudio del uso de la energía atómica en la producción del aluminio.

rapidez como el alcance de dicho proceso. A la luz de este análisis, ¿cuáles son las perspectivas de industrialización en algunas de las principales áreas insuficientemente desarrolladas y hasta qué punto puede resultar facilitada por el hecho de poderse disponer de energía atómica?

No cabe considerar la actual división internacional del trabajo como una situación de equilibrio. Casi todas las áreas poco desarrolladas, una vez expuestas al comercio occidental, han entrado en un período de industrialización concentrada sobre los artículos baratos de consumo que para su producción requieren poco capital. Los factores principales que limitan y determinan el ritmo de esta industrialización son el capital y la energía. Por cada obrero fabril hay que aportar un capital no inferior a Dls. 1,000 y una energía equivalente a entre 4 y 8 toneladas de carbón por año.

Indica nuestro análisis que, por lo menos para la próxima generación, la escasez de capital constituye una limitación mucho más seria para la industrialización rápida de estos países que la escasez tecnológica de los recursos de energía, si bien no están dotados de excesiva generosidad los de combustibles. Esto es particularmente cierto si la industrialización se dirige principalmente a la producción de artículos de consumo. La América del Sur es quizá la excepción más importante, dado que este continente carece casi por completo de carbón y su energía hidráulica es relativamente inaccesible. Los recursos en energía pueden constituir también un factor limitativo en la Europa sudoriental.

Sin embargo, la mayor parte de los países poco desarrollados se proponen no sólo una industrialización del tipo indicado, sino también una industrialización que incluiría las industrias pesadas, lo cual incrementaría la posibilidad de bastarse a sí mismos de todas las clases de artículos manufacturados. Estas intenciones han sido con frecuencia objeto de crítica en tanto que fruto de un nacionalismo extemporáneo. Se aduce que debido a la mayor destreza, al mayor suministro de capital y a los recursos de las áreas industriales más antiguas, los países poco desarrollados debieran concentrarse en manufacturas de mano de obra intensiva de calidad relativamente baja y debieran continuar importando la mayor parte de los artículos de producción que precisen.

Desde el punto de vista de la más eficiente división internacional del trabajo (con los suministros dados de destreza y capacidad) este argumento es muy verosímil, pero no tiene en cuenta varios otros factores que los países poco desarrollados sienten que no pueden desechar. En primer lugar, esos países no están dispuestos a seguir dependiendo de fuentes extranjeras para sus suministros básicos de equipo militar. En segundo lugar, y dadas las presentes condiciones mundiales, se sienten mal dispuestos a depender de los caprichos de los mercados y de los precios mundiales en lo que se refiere al cambio exterior que ha de permitir

la importación de los artículos necesarios de producción, desconfían de la utilización excesiva de préstamos de gobiernos extranjeros para financiar estas importaciones. Debido a los problemas que plantea la cuestión de las divisas, dichos países desean suministrar nacionalmente la mayor cantidad posible de bienes de capital, lo mismo que de los fondos de inversión requeridos para la industrialización.

Tanto la India como las islas de la Indonesia³⁵ cuentan con excelentes perspectivas para un desarrollo considerable de las industrias pesadas utilizando suministros de mineral y combustible locales, excepto por lo que se refiere al carbón para coque en el caso de la India. La ausencia de éste en el Brasil constituirá una desventaja extraordinariamente seria, de suerte que la energía atómica cambiaría radicalmente sus perspectivas, sobre todo si se puede reducir eléctricamente el mineral de hierro. El Japón se encuentra ya muy cerca de los límites de sus recursos en energía y las pilas atómicas proporcionarían una nueva fuente de la misma que sería muy bien recibida contando con mineral de hierro o chatarra o lingote de hierro importados del exterior. En China, el factor limitativo es más bien el mineral de hierro que la energía. En casi todos los países poco desarrollados, la sustitución del hierro o del acero por metales ligeros facilitaría la industrialización y se verían auxiliados por la ubicua energía atómica.

1. El ahorro de capital por el uso de la energía atómica

Nos quedan por examinar varios posibles efectos importantes de la energía atómica sobre el ritmo de la industrialización. Entre ellos figura la posibilidad de reducir las necesidades de capital mediante el uso de la energía atómica en vez de la energía generada por los combustibles o de la hidroeléctrica. Si todo marcha bien, la energía atómica podría reducir el capital conjunto requerido por las centrales generadoras, la construcción de ferrocarriles y las minas de carbón. ¿Qué representa esto en términos del capital total requerido para la industrialización?

Se han presentado ya datos que indican que cerca de 2,600 KWH de electricidad deberán producirse por año por cada Dls. 1,000 de capital en manufacturas, lo que requiere 0.65 kilovatios de capacidad generadora por cada Dls. 1,000 de capital. No es probable que sea mayor la proporción correspondiente al capital invertido en empresas no manufactureras. Dado que las centrales que utilizan carbón requieren una inversión directa de cerca de Dls. 130 por kilovatio de capacidad, a cada Dls. 1,000 de capital invertido en industrias manufactureras deben añadirse Dls. 85 para la producción de energía. No existe razón alguna en la actualidad para

³⁵ No se conocen muy bien los recursos minerales de las islas de la Indonesia, pero al parecer dichas islas cuentan con considerables recursos de carbón y especialmente de hierro, a la par que con muy bien conocidas reservas de petróleo.

creer que los costos de capital de una central atómica sean inferiores a los de una planta de vapor; de hecho, hemos estimado que se encontrarán entre Dls. 140 y Dls. 315 por kilovatio. Sin embargo, la explotación de centrales generadoras a base de carbón puede suponer costos indirectos de capital para las minas de carbón y los ferrocarriles.

Se han publicado algunos datos rusos acerca de la inversión total de capital necesaria para centrales generadoras térmicas, incluyendo la inversión en minas y ferrocarriles. Desgraciadamente, las inversiones directa e indirecta no se dan explícitamente por separado y existen ciertas contradicciones internas en los datos que hacen difícil una interpretación adecuada. Indican estas cifras que la inversión máxima en la Unión Soviética por kilovatio de capacidad de energía en las operaciones de extracción del mineral y transporte del carbón, esto es, para las centrales térmicas de energía situadas a las mayores distancias de las minas de carbón, es justamente casi igual a la inversión directa por kilovatio en la propia central. Por consiguiente, si la inversión en una central de energía atómica es de Dls. 130 por kilovatio de capacidad, conforme hemos supuesto en el capítulo II, la inversión total, incluyendo la inversión indirecta en minas de carbón y ferrocarriles, sería de Dls. 260 por kilovatio.³⁰

Así pues, si se incluye la inversión indirecta máxima, la inversión total en la central que utiliza el carbón es Dls. 45 por kilovatio más elevada que el valor intermedio estimado para una central atómica (conforme se dedujo en el capítulo I). Si se utiliza el cálculo más optimista (Dls. 140) para la central atómica, se podría conseguir un ahorro de Dls. 120 por kilovatio en comparación con la cifra más alta para la central térmica; mientras que si es exacta la más alta estimación (Dls. 315) para la central atómica excederá en Dls. 55 por kilovatio incluso a la inversión máxima en la central a base de carbón, incluyendo los costos indirectos. Sobre la base de la estimación más optimista relativa a la central atómica, se requeriría una inversión total de Dls. 1,091 (incluyendo los medios para generación de energía) por cada Dls. 1,000 de capital en manufacturas, mientras que el máximo para la central térmica ordinaria sería de Dls. 1,170; la central atómica ahorraría cerca del 7.0 % del capital total requerido.

De acuerdo con los datos rusos, en los ferrocarriles se requiere por lo menos el 80 % de la inversión indirecta máxima, o aproximadamente Dls. 100 por kilovatio de capacidad de energía.

¿En qué circunstancias alcanzaría este volumen la inversión en ferrocarriles? En números redondos, podemos aceptar Dls. 100,000 por milla

³⁰ *Electric Power Development in the U.S.S.R., op. cit.* Cifras deducidas en las que se indican en distintos lugares de ese informe, en particular en la p. 486 para el margen de inversión en centrales térmicas tomando en cuenta la extracción y el transporte del carbón, en la p. 107 para el número promedio de horas de funcionamiento por kilovatio de capacidad y en las pp. 390-392 y 415-420 para ciertas cifras relativas a la inversión en transporte y extracción del carbón.

como inversión de capital en un ferrocarril. Si un ferrocarril se construyera exclusivamente con vistas al suministro de combustible a una central generadora de 100,000 kilovatios, la inversión en el mismo por kilovatio sería Dls. 1 por cada milla o Dls. 100 por cada 100. Dado que la cantidad de carbón transportada a una central de este tamaño no utilizaría toda la capacidad del ferrocarril, la inversión por kilovatio y por milla de vía férrea sería proporcionalmente menor para centrales generadoras mayores.

El ahorro de capital basado en una disminución de la necesidad de construir un ferrocarril sería considerable en las siguientes condiciones: a) cuando los ferrocarriles en cuestión se requieren solamente para el transporte del carbón que debe utilizarse en las centrales generadoras de energía y se podría prescindir de ellos en otras condiciones, o por lo menos se podría aplazar su construcción; b) cuando los ferrocarriles todavía no existen; y c) cuando se requeriría buen número de millas de ferrocarril por cada 100,000 kilovatios de capacidad de las centrales generadoras a que servirían. Esta última condición implica que la extensión del país en cuestión es considerable, que las reservas de carbón están muy localizadas y que la densidad de capacidad generadora no es muy grande.

La primera condición, la que se refiere a poder prescindir de los ferrocarriles si se elimina el transporte de carbón es discutible. A decir verdad, el carbón constituye una fracción importante del tonelaje transportado por vía férrea en un país industrial, pero existen otras mercancías que deben ser transportadas en masa a las fábricas manufactureras o a los mercados. Quizá lo mejor que cabría esperar fuera limitar el sistema ferroviario a una tosca red de líneas principales dependientes de carreteras, camiones y cursos de agua para conectar el sistema con todas las ciudades salvo las más importantes y con las áreas rurales. Incluso en este caso, se podría prever tan sólo un ahorro neto de unos Dls. 50,000 por milla, dado que la inversión en carreteras principales sería probablemente alrededor del 50 % de la inversión en ferrocarriles.

La segunda condición queda satisfecha en menor o mayor medida en la mayor parte de los países atrasados. La India se encuentra bastante bien dotada de ferrocarriles, excepto en la parte correspondiente a la península meridional, mientras que en el Brasil y en México grandes áreas carecen de ferrocarriles.

La tercera condición se presenta únicamente en países de considerable extensión y es fácil ver por qué las grandes distancias que encontramos en Rusia han hecho que allí resulte el problema particularmente agudo. Incluso si la mayor parte de la industria pesada estuviera situada cerca de los depósitos de carbón (y la proximidad del mineral de hierro a estos últimos, tanto en la India como en China, hace que sea ésta la solución más razonable en ambos países), subsistiría aun el problema de

proporcionar centrales de energía que no se encuentran así situadas. Por lo tanto, aunque no se pudiera conseguir el ahorro de capital para aquella, pudiera resultar ventajoso construir plantas atómicas para el servicio del resto del país. En la sección siguiente del presente capítulo examinaremos si sería ventajoso en general dispersar de esta manera las industrias distintas a la siderúrgica.

Entre las áreas poco desarrolladas importantes del mundo en las que las distancias son considerables, y en que el ahorro de capital indirecto podría ser importante, figuran, además de Rusia, la India occidental y septentrional, el interior de China, el interior del Brasil, el interior de México y África meridional. En la Europa oriental nos encontramos con distancias menores, lo que hace que las perspectivas de ahorro en ella sean menos considerables. Dado que, conforme se señalaba antes, el éxito en la industrialización puede aparejar una carrera entre acumulación de capital y aumento de población, no se pueden hacer a un lado ni aun reducciones moderadas o aplazamientos en las exigencias de capital.

Cuando consideramos la energía atómica en competencia con la energía hidroeléctrica, las posibilidades de ahorro de capital parecen ser algo más favorables. La inversión por kilovatio de capacidad generadora en las centrales hidroeléctricas de los Estados Unidos oscila entre Dls. 95 y 479, con un promedio de Dls. 175.³⁷ En países como la India, con precipitaciones fuertemente regidas por las estaciones, la exigencia de capital puede acercarse a la más alta de estas cifras. Una línea de transmisión a alta tensión de 300 millas de longitud (aproximadamente la más larga distancia que en la actualidad se puede alcanzar) para una central de 300,000 kilovatios puede costar unos Dls. 21 millones, es decir, Dls. 70 por kilovatio.³⁸ Por consiguiente, el costo total de capital puede oscilar entre Dls. 95 y 550 por kilovatio. Si se compara este resultado con el cálculo intermedio de Dls. 215 para la central atómica, encontramos un ahorro máximo de capital de Dls. 335 por kilovatio, 218 por cada Dls. 1,000 de capital en manufacturas, o aproximadamente el 18 % de la inversión total. Si bien éste no es un ahorro despreciable, no debe olvidarse que la estimación que indicamos corresponde a un máximo y que prácticamente todas las dudas se han resuelto a favor de la central atómica.

Debemos también hacer notar que proyectar y construir ferrocarriles y minas no sólo requiere capital, sino también tiempo antes de que la producción y entrega de energía puedan empezar. Esto puede muy bien no valer en igual grado para la central atómica, una vez que la técnica de la energía atómica quede bien establecida. Pero es difícil fijar un valor a esta ventaja particular de los recursos atómicos respecto de los recursos ordinarios de energía.

³⁷ Barrows, *op. cit.*, p. 690.

³⁸ Bauer and Gold, *op. cit.*, p. 50.

2. El desarrollo regional y la energía atómica

Hasta aquí nuestro análisis tuvo por objeto principalmente la industrialización de toda una nación. Queda por examinar una importante cuestión: la de dónde, *dentro* de esas naciones, debe realizarse la industrialización. Históricamente, los puertos de mar han sido los focos de industrialización, tanto por tratarse de los puntos de acceso más fácil para el comercio occidental como a causa de que la industrialización dependió a menudo de la importación de carbón como energía. Si la inversión privada hubiera de ser la fuente principal de capital para la industrialización en la postguerra, poca duda podría caber de que esta condición habría de subsistir. Los interiores de muchos países poco desarrollados, y ninguno más que el de China, sólo mantienen hasta el presente relaciones muy tenues con la economía mundial. Las nuevas poblaciones industriales de las ciudades costeras provienen en gran medida de la inmigración procedente de interior agrícola.

Por más que avance la industrialización de los sectores costeros de las naciones poco desarrolladas, esta industrialización dará lugar probablemente a un efecto sólo moderado sobre la economía de subsistencia del interior. Es muy posible, claro está, que un área agrícola llegue a constituir una parte de una economía industrial moderna sin estar ella industrializada, de lo cual un primer ejemplo lo ofrecen las llanuras occidentales de los Estados Unidos. Por otra parte, un intercambio barato de productos entre las áreas industriales y el interior debe ser por lo menos posible. Una vez se cumpla esta condición, mediante el desarrollo de una red adecuada de transportes, se planteará la ulterior cuestión de si no resultaría ventajoso trasladar parte de la industria a las regiones agrícolas.

En aquellos países que persiguen una industrialización planeada —y éste es el caso de muchas de las naciones poco desarrolladas— debe decidirse si es preferible concentrar la industria en unas pocas áreas y dejar que los efectos de la industrialización se filtren en el resto de la economía o si debiera intentarse de modo deliberado distribuir ampliamente la nueva industria en las áreas agrícolas. En vez de llevar la nación en conjunto a la órbita de la economía mundial, un objetivo más modesto para los mayores países poco desarrollados pudiera ser el de crear economías regionales con industrias locales para el tratamiento de productos agrícolas locales destinados al consumo local y satisfacer las necesidades de capital más simples de la agricultura: herramientas, maquinaria y fertilizantes. Este tipo de enfoque regional ha figurado en muchos de los planes de industrialización y de desarrollo integral de cuencas.

Se ha hecho observar a menudo que buena parte de la actividad manufacturera se encuentra, cualesquiera que sean las circunstancias, orien-

tada hacia el mercado. El desarrollo de la industria en íntima proximidad geográfica con la agricultura podría a) simplificar la emigración del "excedente" de población, b) proporcionar trabajo en las fábricas a los agricultores y a la mano de obra agrícola en determinadas estaciones del año, c) simplificar el tránsito del trabajador manual desplazado a la nueva economía, d) facilitar los esfuerzos para incrementar la productividad agrícola produciendo el equipo necesario y e) acelerar la educación de la población agrícola hasta el nivel de una sociedad industrializada. Cuando se consideran los costos sociales globales, en vez de los costos para una empresa individual, muy bien pueden presentarse importantes ventajas en favor de una política de este tipo.³⁹

¿Cuál sería el papel de la energía atómica en lo que concierne a facilitar la descentralización de la industria en países que se decidan por este curso? Hemos examinado ya los posibles ahorros en las necesidades de capital. Además, la energía atómica podría llevarse a áreas que, de otra manera, no podrían disponer de energía procedente de fuente alguna a un costo razonable: es decir, áreas que a) no poseen suministros locales de carbón, petróleo o gas; b) no se encuentran dentro de un alcance fácil por lo que respecta a los aprovechamientos hidroeléctricos y c) no tienen acceso (por razón de distancia, costo o dificultades de divisas) a los suministros importados de carbón o petróleo baratos.

No son muchas las áreas en el mundo en las que se reúnen estos criterios, pero entre ellas se encuentran algunas de verdadera importancia: Paquistán, India Central y Meridional y la Costa oriental de América del Sur, particularmente la Argentina. (Los depósitos de carbón con que cuenta China se encuentran ampliamente dispersos por todo el país.)

En las dos áreas antes mencionadas existen considerables posibilidades para el aprovechamiento hidroeléctrico, pero las grandes variaciones del caudal fluvial de acuerdo con las estaciones (en la India) y las dis-

³⁹ No podemos hacer aquí más que citar los comentarios de dos sociólogos chinos:

"Es cierto históricamente que la revolución industrial se realizó mediante la concentración de maquinaria y de población. Hasta hoy, los perfeccionamientos técnicos han seguido en gran medida una marcha paralela al desarrollo de los centros urbanos. Sin embargo, ello se debe principalmente al empleo del vapor como fuente de energía en el primer estadio del desarrollo económico. Cuando se introdujo la energía eléctrica, cambió la tendencia hacia la concentración de la industria..."

"Se ha sugerido la descentralización para la nueva industria china sobre todo a fin de mejorar el nivel de subsistencia del pueblo... esta industria debe limitarse a la manufactura de artículos de consumo. Para la industria pesada es necesaria la concentración de las fábricas. Con esto se plantea otro problema: ¿Qué tipo de industria, la pesada o la ligera, debiera desarrollarse más en China en los años que sigan inmediatamente a la guerra?..."

"[Esto] depende del... orden internacional... si el mundo de la postguerra está regido exclusivamente por la fuerza, China no tendrá otra alternativa que ceder el primer puesto a las industrias pesadas y de los armamentos". Fei y Chang, *op. cit.*, pp. 308-312.

tancias considerables de transmisión harán que los costos sean elevados. En ausencia de energía atómica, es probable que la industrialización de la India se concentre mucho en las provincias en torno de Calcuta, debido a la concentración allí de carbón y hierro. Madras y Bombay están unidos por ferrocarril con Calcuta, pero la distancia es de un millar de millas e incluso el transporte marítimo del combustible sería costoso. El interior de la península está pobremente servido por ferrocarriles y es un área cuya agricultura podría beneficiarse mucho de un buen sistema de riegos. Existen algunas posibilidades para instalaciones hidroeléctricas en esta área, pero buena parte de los centros más favorables para producción de energía han entrado ya en explotación para proporcionar energía a Bombay.

En el pasado, la industrialización en la Argentina y en el Brasil se concentró casi por completo en unas pocas ciudades costeras. Existe cierto número de sitios dotados de energía hidráulica potencial a unos pocos centenares de millas de Río Janeiro, pero casi ninguno a distancia de transmisión de Buenos Aires. Estas ciudades costeras han dependido en gran medida del carbón importado y se ven contrariadas por acontecimientos, como las restricciones de carbón británico. Se han presentado proyectos hidroeléctricos en gran escala para las partes occidentales tanto de Argentina como del Brasil, pero cualquier industrialización considerable en el Oeste implicaría grandes movimientos de población y, probablemente, la extensión de las redes ferroviarias. Incluso si se emprenden estos proyectos, la energía atómica a tarifas moderadas sería muy bien recibida en las ciudades portuarias y en las llanuras al este de las montañas. Pero la reducción en el Brasil del rico mineral de hierro de Minas Geraes podría emprenderse también con energía hidroeléctrica local.

Hemos intentado ilustrar hasta qué punto la energía atómica podría facilitar la industrialización de las áreas atrasadas. Vimos que una escasez técnica de recursos de energía constituye una importante limitación para la industrialización en el Japón y en América del Sur, y en grandes áreas de la India, pero no en China o en las islas de Indonesia. Estos últimos países poseen, al parecer, amplios suministros de combustible e incluso en América del Sur y en la India los aprovechamientos hidroeléctricos podrían suministrar parte de la energía necesaria.

Por el contrario, el principal límite impuesto al posible ritmo de industrialización en la mayor parte de las áreas atrasadas resulta ser la escasez de capital. Esto es particularmente importante, ya que sólo con una industrialización más bien rápida pueden esperar estos países sustraerse a la presión que una población creciente ejerce sobre los limitados recursos agrícolas. El uso de la energía atómica podría reducir el capital requerido para la industrialización en una cuantía que, de acuerdo con las

estimaciones que hemos presentado a modo de ensayo, pudiera ser importante.

Si se consiguiera disponer de energía atómica, acaso la industrialización se viera menos ligada a los depósitos principales de carbón y a la energía hidráulica. Que esto sea o no ventajoso a la larga, depende de cierto número de factores económicos y sociológicos intangibles.

BIBLIOGRAFÍA

- AKERS, SIR WALLACE, "Metallurgical Problems Involved in the Generation of Useful Power from Atomic Energy," *Journal of the Institute of Metals*, vol. 73, julio 1947, pp. 667-680.
- "Aluminum Plant and Facilities," *Report of the Surplus Property Board to Congress, September 21, 1945*, Washington, Government Printing Office, 1945, 131 pp.
- American Iron and Steel Institute, *Annual Statistical Report, 1940*, Nueva York, 112 pp.; 1945, 130 pp.; 1947, 192 pp.
- , "Steel Facts," Nueva York, abril 1947, 8 pp.
- "Atomic Energy, Its Future in Power Production," *Chemical Engineering*, vol. 53, octubre de 1946, pp. 125-133.
- "Atomic Energy 1949," *Business Week*, n° 1026, 30 de abril de 1949, pp. 67-74.
- AYRES, EUGENE, "The Fuel Problem," *Scientific American*, vol. 181, diciembre 1949, pp. 32-39.
- BACHER, R. F., "The Development of Nuclear Reactors," Discurso ante la Academia Norteamericana de Artes y Ciencias, Boston, Mass., 9 de febrero de 1949, Boletín de Prensa de la AEC, 12 pp.
- BACHER, R. F., y R. P. FEYNMAN, Introduction to Atomic Energy," in *The International Control of Atomic Energy*, U. S. Department of State, Publ. 2661, Washington, Government Printing Office, 1946, pp. 9-23.
- BAIN, H. FOSTER, y T. T. READ, *Ores and Industry in South America*, Council on Foreign Relations, Nueva York, Harper and Bros., 1934, 381 pp.
- BARROWS, H. K., "Hydro-Generated Energy," *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 64, abril 1938, parte I, pp. 675-701.
- BAUER, JOHN, y NATHANIEL GOLD, *The Electric Power Industry*, Nueva York, Harper and Bros., 1939, 347 pp.
- BAYKOV, ALEXANDER, *The Development of the Soviet Economic System*, Cambridge, Inglaterra, Cambridge University Press., 1946, 514 pp. [Historia de la Economía Soviética, Fondo de Cultura Económica].
- BELL, ROSCOE E., "Transportation Costs of Sulphur," Pacific Northwest Coordination Committee, abril 1948, Department of Interior (en mimeógrafo), 4 pp.
- BELL, ROSCOE E., y DONALD T. GRIFFITH, "Transportation Costs as They Affect New Phosphorus Industries in the West," Western Phosphate Fertilizer Program, junio 1947, U. S. Department of Interior (en mimeógrafo), 25 pp.
- BLISS, CHARLES A., *The Structure of Manufacturing Production*, Nueva York, National Bureau of Economic Research, 1939, 231 pp.
- BOGOLEPOV, M., "On Sales Prices in Industry," *Planned Economy*, 1936, n° 5, pp. 76-77.
- BORST, LYLE B., "Industrial Application of Nuclear Energy," *The Commercial and Financial Chronicle*, vol. 167, 4 de marzo de 1948, pp. 4, 32.
- "Britain's Atomic Pile," *Discovery*, vol. 9, agosto 1948, p. 233.
- British Information Services, *Labor and Industry in Britain*, vol. 5, septiembre-octubre 1947.
- Business Week*, n° 958, 10 de enero de 1948, pp. 97-98; n° 1062, 7 de enero de 1950, p. 26.
- CAMP, J. M., and C. B. FRANCIS, *Making, Shaping and Treating of Steel*, 5ª edición, Pittsburgh, Carnegie-Illinois Steel Corporation, 1940, 1440 pp.
- Chemical Engineering*, vol. 55, febrero 1948, p. 107.
- CHEYNEY, EDWARD P., *An Introduction to the Industrial and Social History of England*, Nueva York, The MacMillan Co., 1910, 317 pp.

- Chicago Plan Commission, *Master Plan of Residential Land Use of Chicago*, Chicago, 1943, 134 pp.
- China Handbook, 1937-1943*, Compilación del Ministerio de Información de China, Nueva York, The Macmillan Co., 1943, 876 pp.
- CLARK, COLIN, *The Conditions of Economic Progress*, Londres, Macmillan and Co., 1940, 504 pp.
- , *The Economics of 1960*, Londres, Macmillan and Co., 1943, 118 pp.
- "Coal," *Fortune*, vol. 35, marzo 1947, pp. 85-99, 202-206.
- "Coal: The Fuel Revolution," *Fortune*, vol. 35, abril 1947, pp. 99-105, 238-254.
- "Coal: The 'Pitt Consol' Adventure," *Fortune*, vol. 35, julio 1947, pp. 99-105, 134-147.
- Coal Resources of the World*, Estudio auspiciado por el Comité Ejecutivo del 12º Congreso Internacional de Geología, Toronto, Canadá, 1913, W. McInnes et al. (eds.), Toronto, Morang and Co., 1913, 3 vols., 1266 pp.
- COCKCROFT, J. D., "Nuclear Reactors", en *An International Bibliography on Atomic Energy*, Comisión de la Energía Atómica de las Naciones Unidas, vol. II, edición preliminar, 14 de febrero 1949 (sin paginar).
- Columbia River and Minor Tributaries*, estudio del cuerpo de Ingenieros militares de Estados Unidos; publicación del 73rd. Congress, 1st Session, as House Document N° 103, Washington Government Printing Office 1933-34 vol. I, 564 pp.
- "Cost of Energy Generation, Second Symposium on Power Costs," *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 64, abril 1938, parte I, pp. 630-735.
- CURTIS, H. A., A. M. MILLER, y J. N. JUNKINS, "TVA Estimates Favorable Costs for Concentrated Superphosphate," *Chemical and Metallurgical Engineering*, vol. 43, noviembre 1936, pp. 583-587; diciembre 1936, pp. 647-650.
- DALY, M. C., "An Approximation to a Geographical Multiplier," *Economic Journal*, vol. 50, junio-septiembre 1940, pp. 248-258.
- DAVIDSON, W. F., "Atomic Power and Fuel Supply," *Atomics*, vol. 5, octubre 1949, pp. 4-14.
- , "Nuclear Energy for Power Production", comunicación a la conferencia de la Economía del combustible (Conferencia Mundial de Energía, La Haya, 1947), 12 pp.
- Demographic Studies of Selected Areas of Rapid Growth*, Nueva York, Milbank Memorial Fund, 1944, 158 pp.
- DEWHURST, J. FREDERIC, "Foreign Trade and Investment," in *America's Needs and Resources*, J. F. Dewhurst et al. (eds.), Nueva York, Twentieth Century Fund, 1947, pp. 511-535.
- "Diesel Locomotives," *The Lamp*, vol. 29, junio 1947, pp. 2-7.
- Economist*, The vol. 157, 10 de septiembre, 1949, p. 561.
- Edison Electric Institute Bulletin*, vol. 14, julio 1946, p. 233.
- Edison Electric Institute, *Statistical Bulletin*, 1942, Nueva York, 40 pp.; 1946, 36 pp.; 1947, 39 pp.; 1948, 38 pp.
- Electric Power Development in the U.S.S.R., comunicación a la 3ª Conferencia Mundial de Energía, Washington, D.C., 1936, con el apoyo científico del Instituto Krzizhanovsky de Energía, de la Academia de Ciencias de la U.R.S.S., Moscú, sociedad editora INRA, 1936, 496 pp.
- Electrical Merchandising*, vol. 77, enero 1947.
- Engineering and Mining Journal*, vol. 149, mayo 1948, p. 106; vol. 149, junio 1948, p. 68.
- ENGLE, N. H., H. E. GREGORY, y R. MOSSÉ, *Aluminum*, Chicago, Richard D. Irwin, Inc., 1945, 404 pp.
- EZEKIEL, MORDECAI, "Industrial Possibilities Ahead," in *Towards World Prosperity*, M. Ezekiel (ed.), Nueva York, Harper and Bros., 1947, pp. 14-29.

- FEI, HSIAO-TUNG, y CHIH-I CHANG, *Earthbound China*, Chicago, The University of Chicago Press, 1945, 319 pp.
- FEILER, A., y J. MARSCHAK (eds.), *Management in Russian Industry and Agriculture*, by G. Bienstock, S. Schwarz, and A. Yugow, Nueva York, Oxford University Press, 1944, 198 pp.
- FIES, M. H. y JAMES L. ELDER, "Laboratory and Field-Scale Experimentation in the Underground Gasification of Coal", comunicación a la conferencia científica sobre la conservación y utilización de los Recursos de las Naciones Unidas, Lake Success, N.Y., 25 de mayo, 1949, 19 pp.
- FURNIVALL, J. S., *Netherlands India*, Cambridge, Inglaterra, Cambridge University Press, 1944, 502 pp.
- GATZKE, P., "Electric Heating Systems in Furnaces for Ceramic Firing," *Ceramic Industry*, vol. 27, octubre 1936, pp. 267-269.
- GILLILAND, E. R., "Heat Transfer," in *The Science and Engineering of Nuclear Power*, Clark Goodman (ed.), Cambridge, Mass., Addison-Wesley Press, 1947, vol. I, Chapter X.
- "The Glass Industry", compuesto por *The American Glass* para The Development of American Industries, J. G. Glover y W. B. Cornell (ed.), Nueva York, Prentice-Hall, Inc., 1946, pp. 469-485.
- GOODMAN CLARK, "Distribution of Uranium, Thorium and Beryllium Ores and Estimated Costs", conferencia (nº 26) en los Clinton National Laboratories, 1947 (no clasificados), 7 pp.
- , "Future Developments in Nuclear Energy," *Nucleonics*, vol. 4, febrero 1949, pp. 2-16.
- GORDON, LINCOLN, "Power and Fuels," in *Industrial Location and National Resources*, National Resources Planning Board, Washington, Government Printing Office, 1943, pp. 156-180.
- GOULD, J. M., *Output and Productivity in the Electric and Gas Utilities, 1899-1942*, Nueva York, National Bureau of Economic Research, 1946, 195 pp.
- GREGORY, J. S., y D. W. SHAVE, *The U.S.S.R., A Geographical Survey*, Londres, George G. Horeb, 1944, 636 pp.
- GUSTAFSON, J. K., "Uranium Resources," discurso pronunciado en un Coloquio sobre Metalúrgica, en el Instituto Tecnológico de Cambridge, Mass., 9 de marzo, 1949, Boletín de Prensa de la AEC, 14 pp.
- HAMMOND, J. L., y BARBARA HAMMOND, *The Rise of Modern Industry*, Nueva York, Harcourt, Brace and Co., 1926, 281 pp.
- HARTSHORNE, RICHARD, "Location Factors in the Iron and Steel Industry," *Economic Geography*, vol. 4, julio, 1928, pp. 241-252.
- "The Heat Pump," *Electrical Engineering*, vol. 67, abril 1948, pp. 338-348.
- HIRSHFELD, C. F., y R. M. VAN DUZER, JR., "Heat-Generated Energy," *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 64, abril 1938, parte I, pp. 647-674.
- HOBSON, HAROLD, "Integration of Electric Utilities in Great Britain," *Transactions of the Third World Power Conference*, Washington, Government Printing Office, 1938, vol. VII, pp. 615-642.
- "How to Heat a House," *Fortune*, vol. 38, septiembre 1948, pp. 109-113.
- HUBBARD, G. E., *Eastern Industrialization and Its Effect on the West*, Londres, Oxford University Press, 1935, 395 pp.
- International Bank for Reconstruction and Development, Boletines nº 126 y 162, enero 27 y diciembre 14, 1949.
- IRVINE, JOHN W., JR., "Heavy Elements and Nuclear Fuels," in *The Science and Engineering of Nuclear Power*, Clark Goodman (ed.), Cambridge, Mass., Addison-Wesley Press, 1947, vol. I, cap. XI.
- ISARD, WALTER, and JOHN B. LANSING, "Comparisons of Power Cost for Atomic and

- Conventional Steam Stations," *The Review of Economics and Statistics*, vol. 31, agosto 1949, pp. 217-228.
- IYENGAR, S. KESAVA, "Industrialisation and Agriculture in India Post-War Planning," *Economic Journal*, vol. 54, junio-septiembre 1944, pp. 189-205. "La industrialización y la agricultura en la India" *El Trimestre Económico*, vol. XI, México, 1944.
- JATHAR, G. B., y S. G. BERI, *Indian Economics*, 3ª edición, Londres, Cambridge University Press, 1931, 2 vols.
- JEFFRIES, ZAY, "Metals and Alloys of the Future," *American Metal Market*, vol. 54, 28 de marzo 1947, pp. 7, 12.
- KNOWLTON, A. E., "Fourth Steam Station Cost Survey," *Electrical World*, vol. 112, 2 de diciembre, 1939, pp. 51-66.
- KOWARSKI, L., "Atomic Energy Developments in France," *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 4, mayo 1948, pp. 139-140, 154-155.
- KRIEG, EDWIN H., "Progressive Engineering Offsets Increased Costs of Steam-Electric Power Generation," *Civil Engineering*, vol. 18, abril 1948, pp. 14-18.
- KUZNETS, SIMON, *Seasonal Variations in Industry and Trade*, Nueva York, National Bureau of Economic Research, 1933, 455 pp.
- LACHMANN, KURT, "The Balkan Countries," in *Towards World Prosperity*, Mordecai Ezekiel (ed.), Nueva York, Harper and Bros., 1947, pp. 173-185.
- LEVERETT, M. C., "Some Engineering and Economic Aspects of Nuclear Energy," U. S. Atomic Energy Commission, Declassified Document, MDDC-1304, Oak Ridge, Tenn., diciembre 3, 1948, 10 pp.
- LILIENTHAL, DAVID, "Atomic Energy and American Industry," Discurso ante el Club Económico de Detroit, 6 de octubre, 1947, Boletín de Prensa de la AEC, 20 pp.
- , Conferencia de Prensa en "Uranium Supplies," Denver, Colorado, diciembre 17, 1948, Boletín de Prensa de la AEC, 6 pp.
- , Declaración ante el subcomité del Committee on Appropriations, sobre la Ley de 1950, House of Representatives, 81st. Congress., 1st Session, Part 1, Washington, Government Printing Office, 1949, pp. 1068-1279.
- LOVERING, T. S., *Minerals in World Affairs*, Nueva York, Prentice-Hall, Inc., 1944, 394 pp.
- MANDELBAUM, K., *The Industrialisation of Backward Areas*, Monografía N° 2 del Oxford Institute of Statistics, Oxford, Basil Blackwell, 1945, 111 pp. Traducción española, Aguilar.
- MARTIN, T. M. C., "Railway Motive Power for the Pacific Northwest," U. S. Department of the Interior, Bonneville Power Administration, agosto 1946, 36 pp.
- MENKE, J. R., "Nuclear Fission as a Source of Power," *Econometrica*, vol. 15, octubre 1947, pp. 314-334.
- MERCER, ERNEST, "National Power and Resources Policies," *Transactions of the Third World Power Conference*, Washington, Government Printing Office, 1938, vol. IX, pp. 93-118.
- METZLER, LLOYD A., "Exchange Rates and the International Monetary Fund," en *International Monetary Policies*, Board of Governors of the Federal Reserve System, Postwar Economic Studies N° 7, Washington, septiembre 1947, pp. 1-45.
- MIKAMI H. M., "World Iron-Ore Map," *Economic Geology*, vol. 39, enero-febrero, 1944, pp. 1-24.
- MIKHAILOV, N., *Land of the Soviets*, Nueva York, Lee Furman and Co., 1939, 351 pp.
- MILES, FRED C., "Locomotives Ordered and Built in 1946," *Railway Age*, vol. 122, 4 de enero, 1947, pp. 110-113.
- MOMENT, SAMUEL, manuscrito inédito sobre la Industria del Aluminio, compuesto para el Columbia Basin Study sobre el posible desarrollo industrial y las necesi-

- sidades de energía en el Noroeste, Bonneville Power Administration, 15 de agosto de 1947, 42 pp.
- National District Heating Association, *Handbooks*, Nueva York (publicación anual).
- , *Proceedings*, vol. 19, 1928, p. 60; vol. 30, 1939, p. 100; vol. 34, 1943, p. 76.
- National Electric Light Association, *Statistical Bulletin*, 1931, Nueva York, julio 1932, 17 pp.
- National Industrial Conference Board, *The Economic Almanac for 1949*, Nueva York, 1948, 560 pp.
- New York Times*, 18 de septiembre, 1947, p. 27, col. 1; 15 de junio 1948, p. 23, col. 1; 11 de septiembre 1949, sección III, p. 1, col. 6; 29 de noviembre 1949, p. 9, col. 3; 1º de diciembre 1949, p. 17, col. 2; 8 de marzo 1950, p. 24, col. 2.
- NORDBERG, BROR, "Sweden's Modern Cement Plant," *Rock Products*, vol. 49, enero 1946, pp. 78-83.
- OHLIN, BERTIL, *Interregional and International Trade*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1933, 617 pp.
- ORCHARD, JOHN E., *Japan's Economic Position*, Nueva York, Whittlesey House, McGraw-Hill Book Co., 1930, 504 pp.
- ORROK, GEORGE A., *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 63, diciembre 1937, pp. 1884-1892.
- PENROD, E. B., "A Review of Some Heat-Pump Installations," *Mechanical Engineering*, vol. 69, agosto 1947, pp. 639-647.
- PEP (Political and Economic Planning), *The British Fuel and Power Industries*, Londres, octubre 1947, 406 pp.
- PIKE, SUMNER, "The Work of the United States Atomic Energy Commission," Discurso ante el Cooper Union Forum, Nueva York, 13 de enero, 1948, Boletín de Prensa de la AEC, 13 pp.
- , "Atomic Energy in Relation to Geology," Discurso en la reunión anual de la Asociación Norteamericana de los geólogos petroleros y otras organizaciones, St. Louis, Missouri, 16 de marzo, 1949, Boletín de Prensa de la AEC, 8 pp.
- PRICHARD, LEWIS G., HENRY O. PARSONS, ROBERT R. STEWART, y ROSCOE E. BELL, manuscrito inédito sobre la industria de los abonos fosfatados compuesto para el Columbia Basin Study sobre el posible desarrollo industrial y las necesidades de energía en el Noroeste, Bonneville Power Administration, junio 1947, 36 pp.
- PRYCE, M. H. L., "Atomic Power: What Are the Prospects?" *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 4, agosto 1948, pp. 245-248.
- RAMSEYER, C. F., "Sponge Iron—Its Possibilities and Limitations," *Iron and Steel Engineer*, vol. 21, julio 1944, pp. 35-44, 72.
- ROPER, E. C., "The Union of Soviet Socialist Republics," in *Towards World Prosperity*, Mordecai Ezekiel (ed.), Nueva York, Harper and Bros., 1947, pp. 186-214.
- RYAN, WILLIAM F., "Power Plant Construction Cost and Implications," *Power Plant Engineering*, vol. 51, agosto 1947, pp. 116-120.
- SALZMAN, M. C., "Desing, Construction and Operation Control Rising Costs of Hydro Power," *Civil Engineering*, vol. 18, abril 1948, pp. 23-27.
- SCHURR, SAM H., "Atomic Power in Selected Industries," *Harvard Business Review*, vol. 27, julio 1949, pp. 459-479.
- , Discusión sobre "The Social and Economic Significance of Atomic Energy," con comentarios de Philip Sporn and Jacob Marschak, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 37, mayo 1947, pp. 110-117.
- SIMON, HERBERT A., "Effects of Increased Productivity Upon the Ratio of Urban to Rural Population," *Econometrica*, vol. 15, enero 1947, pp. 31-42.
- SMYTH, H. D., *Atomic Energy for Military Purposes*, Princeton, Princeton University Press, 1946, 308 pp.

- Sociedad de Naciones, *Statistical Yearbook, 1942-1944*, Ginebra, 1945, 315 pp.
- SPEDDING, F. H., "Chemical Aspects of the Atomic Energy Problem," *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 5, febrero 1949, pp. 48-50.
- SPORN, PHILIP, "Cost of Generation of Electric Energy," *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 63, diciembre 1937, pp. 1925-1935.
- , Discusión sobre "The Social and Economic Significance of Atomic Energy," *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 37, mayo 1947, pp. 110-115.
- , "The Sixth Ingredient—The Heat Pump," *Edison Electric Institute Bulletin*, vol. 12, agosto 1944, pp. 240-247, 272.
- STANSFIELD, ALFRED, *The Electric Furnace for Iron and Steel*, Nueva York, McGraw-Hill Book Co., 1923, 453 pp.
- STROCK, CLIFFORD, *Heating and Ventilating's Engineering Data Book*, Nueva York, The Industrial Press, 1948.
- SVIRSKY, LEON, "The Atomic Energy Commission," *Scientific American*, vol. 181, julio 1949, pp. 30-43.
- SZILARD, LEO, declaración ante el Special Committee on Atomic Energy, U. S. Senate, 79th Congress, 2nd Session, Part 2, Washington, Government Printing Office, 1946, pp. 267-300.
- SZILARD, LEO, y W. H. ZINN, "Emission of Neutrons by Uranium," *Physical Review*, vol. 56, 1º de octubre, 1939, pp. 619-624.
- "Technological Control of Atomic Energy Activities," in *The International Control of Atomic Energy*, U. S. Department of State, Publicación 2661, Washington, Government Printing Office, 1946, pp. 143-195.
- Tennessee Valley Authority, *Annual Report, 1944*, Washington, Government Printing Office, 180 pp.
- THAKURDAS, P., et al., *A Plan of Economic Development for India*, Nueva York, Penguin Books, 1945, 105 pp.
- THELANDER, T., "Some Results of Electric Traction on the Swedish State Railways," Comunicación a la Conferencia de Economía de combustible (Conferencia Mundial de Energía, La Haya, 1947), 12 pp.
- THOMAS, C. A., "Nuclear Power," in *The International Control of Atomic Energy*, U. S. Department of State, Publicación 2661, Washington, Government Printing Office, 1946, pp. 121-127.
- TROXEL, EMERY, *Economics of Public Utilities*, Nueva York, Rinehart and Co., 1947, 892 pp.
- United Nations, Atomic Energy Commission Group, *An International Bibliography on Atomic Energy*, vol. I, Lake Success, Nueva York, 1949, 45 pp.; vol. II, edición preliminar, febrero 14, 1949 (sin paginar).
- , Department of Economic Affairs, *A Survey of the Economic Situation and Prospects of Europe*, Ginebra, 1948, 206 pp.
- , *Statistical Yearbook, 1949*, Lake Success, Nueva York, 1949, 482 pp.
- U. S. Atomic Energy Commission, "AEC Reactor Safeguard Committee to Visit United Kingdom," Boletín de Prensa de la AEC, 31 de agosto de 1949, 3 pp.
- , "AEC Selects Contractor to Build First Nuclear Reactor at Testing Station in Idaho," Boletín de Prensa de la AEC, 28 de noviembre de 1949, 5 pp.
- , *Atomic Energy Development, 1947-1948*, Quinto informe semestral, Washington, Government Printing Office, 1949, 213 pp.
- , "Major Classes of Uranium Deposits," Boletín de Prensa de la AEC, 9 de diciembre, 1948, 2 pp.
- , Boletín de Prensa, noviembre 10, 1949, p. 1.
- , *Third Semiannual Report*, Washington, Government Printing Office, 1948, 49 pp.
- , *Fourth Semiannual Report*, Washington, Government Printing Office, 1948, 192 pp.

- , Seminario sobre utilización de desperdicios radioactivos, 24-25 de enero de 1949, "Digest of Proceedings", comunicado de Prensa de la Comisión de Energía Atómica, 30 de enero de 1949, 56 pp.
- U. S. Bureau of the Census, *Census of 1940, Population, Number of Inhabitants*, vol. I, Washington, Government Printing Office, 1942, 1236 pp.
- , *Census of 1940, Mineral Industries, 1939*, vol. I, Washington, Government Printing Office, 1944, 876 pp.
- , *Census of Manufactures, 1939*, Washington, Government Printing Office, 1942, 3 vols.
- , *Census of Manufactures, 1947*, informe preliminar en "Fuels and Electric Energy Consumed," Washington, 18 de noviembre de 1949, 5 pp.; Sección sobre "Industrial Inorganic Chemicals," Washington, Government Printing Office, 1949, 8 pp.
- , *Statistical Abstract of the United States, 1947*, Washington, Government Printing Office, 1038 pp.; 1948, 1054 pp.
- U. S. Bureau of Labor Statistics, "Full Employment Patterns, 1950," Washington, mayo 1946, Apéndice A.
- , *Handbook of Labor Statistics*, edición de 1947, Washington, Government Printing Office, 1948, 220 pp.
- , *Monthly Labor Review*, vol. 69, noviembre 1949.
- U. S. Bureau of Mines, *Coal Mining in Europe*, por G. S. Rice y I. Hartmann, Boletín 414, Washington, Government Printing Office, 1939, 369 pp.
- , *Foreign Minerals Surveys* (publicación irregular).
- , *Minerals Yearbook, 1940*, Washington, Government Printing Office, 1514 pp.; 1945, 1689 pp.; 1946, 1629 pp.; 1947, Sección de "Uranium, Radium and Thorium", pp. 1199-1216; 1948, Sección de "Coal—Bituminous and Lignite".
- , "Production of Sponge Iron," por C. E. Williams, E. P. Barrett, and B. M. Larsen, Boletín 270, Washington, Government Printing Office, 1927, 175 pp.
- , "Recovery of Aluminum from Kaolin by the Lime-Soda Sinter Process," por Frank J. Cservenyak, R. I. 4069, Washington, mayo 1947, 59 pp.
- , "Use of Sponge Iron in Steel Production," por R. C. Buehl, M. B. Royer, and J. P. Riott, R. I. 4096, Washington, julio 1947, 74 pp.
- U. S. Department of Agriculture, "Double Superphosphate," por A. L. Mehring, Circular N° 718, Washington, Government Printing Office, diciembre 1944, 24 pp.
- U. S. Department of Commerce, *Foreign Commerce Weekly*, vol. 19, mayo 12, 1945, pp. 10-13, 47-50.
- , *Foreign Commerce Yearbook, 1937*, Washington, Government Printing Office, 1938, 413 pp.
- , *Survey of Current Business*, vol. 29, 1949.
- U. S. Department of State, *Energy Resources of the World*; edición preliminar, 1945; Publicación 3428, Washington, Government Printing Office, 1949, 128 pp.
- , *The International Control of Atomic Energy, Scientific Information Transmitted to the United Nations Atomic Energy Commission*, Publicación 2661, Washington, Government Printing Office, 1946, 195 pp.
- , *A Report on the International Control of Atomic Energy*, Publicación 2498, publicado como House Document N° 709, 79th Congress, 2nd Session, Washington, Government Printing Office, marzo 16, 1946, 61 pp.
- U. S. Federal Coordinator of Transportation, *Freight Traffic Report*, Washington, 1935, vol. III, 287 pp.
- U. S. Federal Power Commission, "Consumption of Fuel for Production of Electric Energy, 1946," Washington, 17 pp.
- , Investigación sobre el gas natural, "Problems of Long-Distance Transportation of Natural Gas," Extracto N° G-580, Staff Report, Washington, noviembre 1947, 128 pp.
- , Investigación sobre el gas natural, *Testimony of Commissioners Nelson Lee*

- Smith and Harrington Wimberly, Extracto N° G-580, Washington, Government Printing Office, 1948, 498 pp.
- , *Power Requirements in Electrochemical, Electrometallurgical, and Allied Industries*, Washington, Government Printing Office, 1938, 125 pp.
- , *Steam-Electric Plant Construction, Cost and Annual Production Expenses, 1938-1947*, Washington, 406 pp.
- , *The Use of Electric Power in Transportation*, Power Series n° 4, Washington, Government Printing Office, 1936, 61 pp.
- U. S. Interstate Commerce Commission, *Comparative Statement of Railway Operating Statistics, 1946 and 1945*, Washington, Government Printing Office, 1947, 63 pp.
- , Ex Parte N° 162, N° 148, "Increased Railway Rates, Fares, and Charges," diciembre 5, 1946, in *I.C.C. Reports*, Washington, Government Printing Office, vol. 266, pp. 537-625.
- , "Monthly Comment on Transportation Statistics" (mimeografiado); marzo 11, 1948, 19 pp.; agosto 15, 1949, 19 pp.; octubre 11, 1949, 17 pp.
- , "Postwar Capital Expenditures of the Railroads," Washington, Government Printing Office, marzo 1947, 75 pp.
- , *Statistics of Railways in the United States, 1939*, Washington, Government Printing Office, 583 pp.; 1945, 608 pp.
- U. S. National Resources Committee, *Energy Resources and National Policy*, Washington, Government Printing Office, 1939, 435 pp.
- , *The Structure of the American Economy*, Washington, Government Printing Office, 1939, parte I, 396 pp.
- U. S. Tariff Commission, *Flat Glass and Related Glass Products*, informe n° 123, segunda serie, Washington, Government Printing Office, 1937, 277 pp.
- , *Report on Cement*, Informe n° 38, segunda serie, Washington, Government Printing Office, 1932, 26 pp.
- , *Window Glass*, Washington, Government Printing Office, 1929, 44 pp.
- WAGNER, C. F., y J. A. HUTCHESON, "Nuclear-Energy Potentialities," *Westinghouse Engineer*, vol. 6, julio 1946, pp. 125-127.
- Wall Street Journal*, 20 de octubre de 1948, p. 1, col. 6.
- WEST, M. E., *Brick and Tile*, W.P.A. National Research Project, informe N° N-2, Philadelphia, 1939, 212 pp.
- "The Western Steel Industry," *Utah Economic and Business Review*, vol. 3, junio 1944, p. 19.
- WHEELER, J. A., "The Future of Nuclear Power," *Mechanical Engineering*, vol. 68, mayo 1946, pp. 401-405.
- , "Inspection of Manufacturing Processes: Possibility of Detection," in *Reports and Discussion on Problems of War and Peace in the Atomic Age*, The Committee on Atomic Energy of the Carnegie Endowment for International Peace, Nueva York, 1946, pp. 52-58.
- WILSON, CARROLL, declaración ante el subcomité del Committee on Appropriations, sobre la ley de 1950, House of Representatives, 81st Congress, 1st Session, Part 1, Washington, Government Printing Office, 1949, pp. 1068-1279.
- WILSON, ROBERT E., "Oil from Coal and Shale," in *Our Oil Resources*, Leonard M. Fanning (ed.), Nueva York, McGraw-Hill Book Co., 1945, pp. 210-229.
- World Oil Atlas, 1946*, sección 2 de *The Oil Weekly*, vol. 121, 20 de mayo de 1946, p. 29.
- World Power Conference, *Power Resources of the World*, Londres, 1929, 170 pp.
- , *Transactions of the First World Power Conference*, Londres 1924, 5 vols.
- , *Transactions of the Third World Power Conference*, Washington, D.C., 1936, 10 vols.
- YAWORSKI, N., V. SPENCER, et al., *Fuel Efficiency in Cement Manufacture, 1909-*

- 1935, W.P.A. National Research Project, Informe N° E-5, Philadelphia, 1938, 92 pp.
- YELLOTT, JOHN I., "The Coal-Burning Gas Turbine Locomotive," *The Analysts Journal*, vol. 3, n° 1, 1947, pp. 18-31.

INDICE DE CUADROS, MAPAS Y GRÁFICAS

CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> Costos totales de producción de energía nuclear en una planta de 75,000 kilovatios que funciona al 50 % de su capacidad	51
<i>Cuadro 2.</i> Costo de la electricidad en función del costo del carbón según el método de evaluación utilizado en el mapa 1	64
<i>Cuadro 3.</i> Generación térmica e hidroeléctrica en países seleccionados, 1937	77
<i>Cuadro 4.</i> Producción de energía termoeléctrica según el combustible empleado: en el mundo y en países seleccionados, 1937	78
<i>Cuadro 5.</i> Producción mundial de carbón en los principales países, 1937	84
<i>Cuadro 6.</i> Producción mundial de petróleo crudo en las principales regiones productoras, 1937 y 1945	85
<i>Cuadro 7.</i> Efectos de diferentes tasas de interés sobre las comparaciones entre los costos de la energía atómica y de la energía térmica ordinaria	97
<i>Cuadro 8.</i> Energía atómica y energía térmica ordinaria comparadas según dos criterios: costos totales de producción y necesidades de divisas	101
<i>Cuadro 9.</i> Costo de la energía expresado como tanto por ciento del costo de producción en diversas industrias	113
<i>Cuadro 10.</i> Combustible consumido en diversas actividades que utilizan combustible, no electricidad, como fuente primaria de energía	116
<i>Cuadro 11.</i> Costos de producción de lingote de aluminio. Costos de fábrica estimados correspondientes a la postguerra y para fábricas norteamericanas típicas, con referencia especial a los costos de la energía y al transporte de la bauxita y la alúmina	140
<i>Cuadro 12.</i> Mercados y centros de producción de aluminio estimados por regiones	142
<i>Cuadro 13.</i> Costos y necesidades de transporte del superfosfato fertilizante por diferentes concentraciones y diferentes procesos de producción	165
<i>Cuadro 14.</i> Combustible y energía como porcentaje del costo total de producción de cemento a precios variables del carbón	175
<i>Cuadro 15.</i> El combustible y la energía en la fabricación de cemento: comparación de los costos basados en el carbón con los costos basados en la electricidad	176

<i>Cuadro 16.</i> El combustible y la energía en la fabricación de cemento: comparación de los costos basados en el reactor nuclear como fuente de calor directo y de electricidad con los costos basados en el carbón (todos los costos atómicos se expresan en términos del costo equivalente de electricidad con un factor de planta de 50 %)	178
<i>Cuadro 17.</i> Vidrio plano: costos del combustible y de la energía (como por ciento del valor en fábrica del producto) según diferentes precios del gas natural	191
<i>Cuadro 18.</i> Vidrio plano: tarifas para el gas natural y la electricidad que igualan los costos del combustible y la energía en los procesos basados en el gas natural y en la electricidad	192
<i>Cuadro 19.</i> Centros más importantes de producción de vidrio plano: precio promedio del gas natural; costo estimado de la electricidad que daría lugar a iguales costos de combustible y energía; costo estimado de la electricidad obtenida con el combustible más barato de la región	193
<i>Cuadro 20.</i> Costo estimado de la electricidad en Nueva York y Chicago que igualaría los costos del vidrio plano en estos mercados de acuerdo con diversas hipótesis	197
<i>Cuadro 21.</i> Precios comparativos del petróleo combustible y de la electricidad que igualarán los costos de fundición por tonelada de acero en los hornos eléctricos y de hogar abierto	206
<i>Cuadro 22.</i> Precios comparativos del carbón coquizable y de la electricidad que igualarán los costos de producción de lingote de hierro en los altos hornos de coque y en el horno eléctrico de cúpula	212
<i>Cuadro 23.</i> Precios comparativos del carbón coquizable y la electricidad que igualarán los costos de producción del hierro en las fábricas dotadas de altos hornos de coque y en las de hierro poroso que usen hidrógeno electrolítico	218
<i>Cuadro 24.</i> Estimación de las necesidades mundiales de acero comparadas con la producción máxima	228
<i>Cuadro 25.</i> Tráfico de carga: toneladas-milla de vagones, contenidos y furgones de cola; años civiles 1941, 1946, 1947	236
<i>Cuadro 26.</i> Comparación de la fuerza motriz en los ferrocarriles diesel y eléctricos: desembolsos de capital no comunes a ambos sistemas en función de la densidad de tráfico del sistema (datos expresados en términos de una sola locomotora de cada tipo que recorre 200,000 millas al año)	241
<i>Cuadro 27.</i> Comparación de la fuerza motriz en el ferrocarril diesel y en el eléctrico; costos anuales de explotación (conservación y cargos fijos), exceptuando el combustible, no comunes a ambos	

sistemas, en función de la densidad de tráfico del sistema (datos expresados en términos de una sola locomotora de cada tipo que recorre 200,000 millas por año)	243
<i>Cuadro 28.</i> Comparación de la fuerza motriz en los ferrocarriles diesel y los eléctricos: precios del aceite diesel y de la electricidad que igualan los gastos totales de explotación para ambos tipos de fuerza motriz en función de la densidad de tráfico del sistema	244
<i>Cuadro 29.</i> Densidad de tráfico, costo del aceite diesel y tarifas estimadas de la electricidad, por regiones, que igualan los costos de explotación para locomotoras diesel en los ferrocarriles de primera clase de los Estados Unidos	246
<i>Cuadro 30.</i> Efectos de distintos procesos y localización: ejemplo hipotético	283
<i>Cuadro 31.</i> Cambios en el consumo doméstico, en el precio de la electricidad y en el ingreso nacional 1913, 1930 y 1948	287
<i>Cuadro 32.</i> Uso doméstico de la electricidad	289

MAPAS

<i>Mapa 1.</i> Costos de producción de la electricidad calculados para puntos elegidos para su comparación con los costos estimados de la electricidad atómica. Frente a la página	64
<i>Mapa 2.</i> Recursos mundiales hidroeléctricos. Frente a la página ..	64
<i>Mapa 3.</i> Reservas de carbón y petróleo. Frente a la página	80
<i>Mapa 4.</i> Distribución de la población. Frente a la página	80

GRAFICAS

<i>Gráfica 1.</i> Capacidad anual de la central y costos de inversión para el sistema de distribución del vapor (excluido el costo de la central productora y de las conexiones de servicio) que sirve a 4 millas cuadradas en función de la densidad de población y del intervalo proyectado de temperatura	260
<i>Gráfica 2.</i> Necesidades anuales de vapor para 4 millas cuadradas en función de la densidad de población y del déficit térmico anual	262

INDICE GENERAL

PRIMERA PARTE

Comparación económica entre la energía nuclear y otras formas de energía

I. CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS DE LA ENERGÍA ATÓMICA	19
A. Caracteres físicos y económicos de la energía atómica útil	21
1. Usos de la energía atómica	21
2. Combustible nuclear	24
<i>a) La producción y el consumo de combustible en el reactor nuclear, 24.—b) Inversión inicial de combustible en el reactor nuclear, 27.</i>	
3. Planta y equipo	31
<i>a) La producción de electricidad con medios usuales, 31.—b) Necesidad de plantas de tratamiento químico, 32.—c) Problemas de ingeniería en el diseño de reactores, 35.</i>	
B. Los recursos de uranio y torio	36
C. Costo de la energía atómica	41
1. Base conceptual de la evaluación del costo	41
2. Evaluación del costo	43
<i>a) Factores empleados en el cálculo del costo de la electricidad térmica ordinaria, 43.—b) Costo mínimo estimado de la energía atómica, 43.—c) Evaluación de costos reducidos según los estudios publicados sobre energía atómica, 44.</i>	
<i>Apéndice A. Proporción de costos fijos</i>	<i>53</i>
<i>Apéndice B. Algunas consecuencias económicas del control de la energía atómica</i>	<i>55</i>
II. EL COSTO DE LA ELECTRICIDAD GENERADA EN PLANTAS ORDINARIAS	61
A. Mapa mundial de costos de la electricidad	62
1. Carácter de los valores de costo	62
<i>a) La planta termoeléctrica hipotética, 62.—b) Costo del combustible, 65.—c) Costos de la energía hidroeléctrica, 66.—d) La conversión de la moneda extranjera, 67.</i>	
2. Resumen de los datos del mapa	73
<i>a) Información que contiene, 73.—b) Fuentes de energía eléctrica, 75.—c) Costos de la energía eléctrica, 76.—d) Costo de</i>	

la energía termoeléctrica en Estados Unidos y en la Unión Soviética, 85.—e) Precios del combustible en 1946, 87.

B. Significación de las diferencias en la composición de los costos totales de la energía atómica y de la energía ordinaria	88
1. Elementos del costo total: energía atómica y energía térmica ordinaria	88
2. Tendencias en los elementos del costo de la energía atómica y de la energía ordinaria	89
3. Cambios tecnológicos en los combustibles ordinarios ..	92
4. Significación en distintos países de la diferente composición de los costos totales	95
a) Interés sobre la inversión, 96.—b) Necesidades cambiarias, 97.—c) Conclusiones, 102.	

SEGUNDA PARTE

La energía atómica en distintas industrias

III. EL ANÁLISIS DE LAS INDUSTRIAS: SÍNTESIS	107
A. Planteamiento del problema	107
1. Objetivos del análisis por industrias	107
2. Principales cuestiones que se plantean en el análisis por industrias	108
3. Significación de los análisis de industrias para cuestiones económicas más generales	110
a) La economía de recursos, 110.—b) Desarrollo económico, 111.	
4. Selección de industrias	113
5. El costo de la energía atómica	117
B. Resultados más importantes de los análisis de industrias ..	121
1. Aluminio	121
2. Cloro y sosa cáustica	123
3. Abonos fosfatados	124
4. Cemento	126
5. Ladrillos	127
6. Vidrio plano	128
7. Hierro y acero	129
8. Transporte ferroviario	132
9. Calefacción doméstica	134
IV. ALUMINIO	137

A. Procesos de la producción	137
B. Efectos de la energía atómica sobre los costos y la localización de la producción	139
1. Importancia de la electricidad y el transporte en el costo de producción	139
2. Posibilidad de reducir el costo en las actuales localizaciones	139
3. Posibilidad de trasladar a nuevos lugares las plantas refinadoras de aluminio	141
a) Más cerca de las materias primas, 141.—b) Más cerca del mercado, 141.	
C. La energía atómica y la expansión de la producción del aluminio	143
1. Aumento de la demanda de aluminio	144
2. Demanda de energía como consecuencia del aumento de la producción del aluminio	145
3. Producción del aluminio a partir de minerales diferentes de la bauxita	148
D. Aplicación del análisis a otros países	149
V. CLORO Y SOSA CÁUSTICA	154
A. Los procesos de producción y los factores que intervienen en la localización de las fábricas	154
B. Posibles efectos económicos de la energía atómica	155
1. Importancia del costo de la energía	155
2. Reducciones posibles del costo mediante el uso de la energía atómica	157
C. Algunas conclusiones generales	158
VI. ABONOS FOSFATADOS	160
A. Procesos de producción y factores que intervienen en la localización de las fábricas	161
1. Proceso del ácido sulfúrico	161
2. Proceso del horno eléctrico	163
3. Los costos de transporte del abono de superfosfato: síntesis	164
B. Posibles efectos económicos de la energía atómica	166
1. Costos comparativos del proceso del ácido sulfúrico y del horno eléctrico alimentado con energía atómica en la producción de abonos en la Florida	166

2. Costos comparativos entre fundición de roca de la Florida en esta región y en otro lugar	169
C. Conclusiones generales	171
VII. CEMENTO	173
A. Procedimiento de producción y factores que intervienen en la localización de las fábricas	173
B. Costos comparativos del combustible y la energía, empleando carbón o energía atómica	174
1. Importancia de los costos de combustible y energía ...	174
2. Costos comparativos: el carbón y la energía atómica ..	175
<i>a)</i> Uso de la electricidad atómica para todas las operaciones, 175.— <i>b)</i> Los reactores nucleares como fuente de calor directo y de electricidad, 177.	
C. Algunas conclusiones generales	182
VIII. LADRILLOS	184
IX. VIDRIO PLANO	187
A. Los procesos de producción y los factores que intervienen en la localización de las fábricas	187
B. Posibles efectos de la energía atómica en los costos de producción y en la localización de la fábrica	190
1. La importancia de los costos del combustible y la energía	190
2. Costos comparativos del gas natural y de la electricidad en la producción del vidrio ...	191
3. Posibles efectos de la energía atómica	193
<i>a)</i> Los costos de producción dada la actual localización, 193.— <i>b)</i> Nuevos centros de producción, 195.	
C. Conclusiones generales	198
X. HIERRO Y ACERO	199
A. El proceso de producción, las materias primas y la localización de las fábricas	199
1. El proceso de producción	199
2. Localización e integración de las fábricas	200
<i>a)</i> La integración y la escala de producción, 200.— <i>b)</i> Localización de la producción, 201.	
B. Posibles efectos de la energía atómica sobre los costos de	

producción, la localización de la fábrica y la integración	203
1. Hipótesis en que se basa el análisis	203
2. Efectos sobre los costos suponiendo que no ocurran cambios en la localización ni en la tecnología, ni que aumente relativamente el consumo de electricidad	204
3. Efectos de la energía atómica teniendo en cuenta el posible incremento de la importancia relativa de la producción de acero con horno eléctrico	205
<i>a)</i> Los costos comparativos de la producción de acero con hornos de hogar abierto y eléctrico, 205.— <i>b)</i> Cambios de localización resultantes del uso de hornos eléctricos basados en la energía atómica, 207.	
4. Efectos de la energía atómica acompañados de cambios fundamentales en la técnica de la reducción del mineral de hierro, esto es, la sustitución del carbón coquizable por la electricidad	210
<i>a)</i> La fundición eléctrica del mineral de hierro, 211.— <i>b)</i> Los procesos a baja temperatura (hierro poroso), 213.	
C. El empleo de una nueva tecnología de producción siderúrgica en Estados Unidos y en otros países	224
1. La posible importancia de las operaciones con horno eléctrico de aceración	225
2. La posible importancia de la reducción por hidrógeno ..	225
<i>a)</i> En Estados Unidos, 225.— <i>b)</i> En otros países, 226.	
XI. TRANSPORTE FERROVIARIO	232
A. Los costos comparativos de diferentes formas de energía motriz para los ferrocarriles	234
1. El costo de la fuerza motriz en los ferrocarriles	234
2. Las nuevas tendencias en el uso de fuerza motriz en los ferrocarriles	235
3. Las necesidades de capital y los costos de explotación: comparación de la fuerza motriz diesel y eléctrica ..	239
<i>a)</i> Necesidades de capital, 240.— <i>b)</i> Los costos de explotación, 242.	
B. Consecuencias de la energía atómica para la electrificación de los ferrocarriles en Estados Unidos y en otros países	245
1. Estados Unidos	245

2. Otros países	248
Apéndice: Sobre la viabilidad de usar centrales de energía atómica en las locomotoras	250
XII. CALEFACCIÓN DOMÉSTICA	253
A. El uso de la energía atómica en la calefacción doméstica ..	254
B. El costo de la energía atómica en la calefacción doméstica municipal	256
1. La distribución del calor producido centralmente	257
a) La demanda máxima (capacidad anual de la central), 257.—	
b) Necesidades anuales, 259.—c) Costo de la distribución del calor, 261.	
2. La generación de calor en un reactor nuclear	263
3. Significación de las pérdidas de calor	264
C. Viabilidad económica de la calefacción municipal basada en la energía atómica	266

TERCERA PARTE

La energía atómica y el desarrollo económico

XIII. EFECTOS DE LA ENERGÍA ATÓMICA SOBRE LAS ECONOMÍAS NACIONALES Y REGIONALES	275
A. Posibles efectos sobre el ingreso nacional	277
1. Estimación del aumento de ingreso	277
2. Estimación del aumento de la demanda de energía	284
3. "Efectos de gatillo"	291
4. Hipótesis económicas implícitas en las estimaciones del incremento de ingreso	293
a) La ocupación plena de los recursos, 294.—b) Costos del capital inmovilizado, 295.	
5. Las repercusiones a largo plazo	297
a) Cambios en la tasa de acumulación del capital, 298.—b) Cambios en la población y en el volumen de la mano de obra, 298.—	
c) Repercusiones a largo plazo: cambios en la tecnología, 299.	
B. Posibles efectos sobre la localización	299
1. El multiplicador de producción	301
2. El multiplicador de bienes de producción	302
3. El multiplicador de consumo	303
a) El efecto ingreso y el multiplicador de consumo, 304.	

4. El multiplicador de equipo de capital	305
5. Fuentes de la nueva mano de obra	306
C. Algunas conclusiones generales	308
XIV. LA ENERGÍA ATÓMICA Y LA INDUSTRIALIZACIÓN DE LAS ÁREAS INSUFICIENTEMENTE DESARROLLADAS	309
A. Etapas típicas de la industrialización	310
Etapa 1ª: La economía aldeana, 310.—Etapa 2ª: La economía del monocultivo, 311.—Etapa 3ª: Industrialización incipiente, 312.	
B. La industrialización y el ingreso real	314
C. Factores que limitan la industrialización	317
1. El capital	318
2. La destreza	323
3. La energía	324
4. Los recursos minerales	327
D. Perspectivas de la industrialización mediante el uso de la energía atómica	329
1. El ahorro de capital por el uso de la energía atómica ..	331
2. El desarrollo regional y la energía atómica	335
BIBLIOGRAFÍA	339
ÍNDICE DE CUADROS MAPAS Y GRÁFICAS	349

Este libro se acabó de imprimir el día 26 de noviembre de 1952 en los talleres de Gráfica Panamericana, S. de R. L., Pánuco 63, México 5, D. F. En su composición se utilizaron tipos Janson 10:12 y 8:9 y Caslon 8:8 puntos. De él se hizo una tirada de 5,000 ejemplares y se encuadernó en Encuadernación "Progreso", Calzada Obrero Mundial e Isabel la Católica. La edición de la obra estuvo bajo el cuidado de *Sindulfo de la Fuente* y *Francisco González Aramburo*.